

ISSN 2523-0344

Volumen 2, Número 3 -- Enero -- Marzo - 2018

Revista de Ingeniería Industrial

ECORFAN®

ECORFAN-Perú

Editora en Jefe

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLO, Angélica. BsC

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Revista de Ingeniería Industrial, Volumen 2, Número 3, de Enero a Marzo 2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No.- Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode:11500. WEB: www.ecorfan.org/republicofperu, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. Co-Editor: SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD. ISSN: 2523-0344. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Marzo del 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

Revista de Ingeniería Industrial

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología.

ECORFAN-México S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

Alcances, Cobertura y Audiencia

Revista de Ingeniería Industrial es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Perú, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de la Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD
Oak Ridge National Laboratory

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD
Université des Sciences et Technologies de Lille

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD
Institute of Technology

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD
University of La Rochelle

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

DECTOR - ESPINOZA, Andrés. PhD
Centro de Microelectrónica de Barcelona

TELOXA - REYES, Julio. PhD
Advanced Technology Center

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD
Universidad Gestalt

CENDEJAS - VALDEZ, José Luis. PhD
Universidad Politécnica de Madrid

HERNANDEZ - ESCOBEDO, Quetzalcoatl Cruz. PhD
Universidad Central del Ecuador

HERRERA - DIAZ, Israel Enrique. PhD
Center of Research in Mathematics

MEDELLIN - CASTILLO, Hugo Iván. PhD
Heriot-Watt University

LAGUNA, Manuel. PhD
University of Colorado

VAZQUES - NOGUERA, José. PhD
Universidad Nacional de Asunción

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD
University of Alberta

AYALA - GARCÍA, Ivo Nefthalí. PhD
University of Southampton

LÓPEZ - HERNÁNDEZ, Juan Manuel. PhD
Institut National Polytechnique de Lorraine

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD
Universidad de Sevilla

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD
Universidad Politécnica de Valencia

MARTINEZ - ALVARADO, Luis. PhD
Universidad Politécnica de Cataluña

MAYORGA - ORTIZ, Pedro. PhD
Institut National Polytechnique de Grenoble

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD
University of South Florida

LARA - ROSANO, Felipe. PhD
Universidad de Aachen

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD
University of Amsterdam

DE LA ROSA - VARGAS, José Ismael. PhD
Universidad París XI

CASTILLO - LÓPEZ, Oscar. PhD
Academia de Ciencias de Polonia

LÓPEZ - BONILLA, Oscar Roberto. PhD
State University of New York at Stony Brook

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD
Syracuse University

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD
University of Texas

VEGA - PINEDA, Javier. PhD
University of Texas

PÉREZ - ROBLES, Juan Francisco. PhD
Instituto Tecnológico de Saltillo

SALINAS - ÁVILES, Oscar Hilario. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados -IPN

RODRÍGUEZ - AGUILAR, Rosa María. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD
Universidad de Guanajuato

MORILLÓN - GÁLVEZ, David. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

CASTILLO - TÉLLEZ, Margarita. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

SERRANO - ARRELLANO, Juan. PhD
Universidad de Guanajuato

ZAVALA - DE PAZ, Jonny Paul. PhD
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

ARROYO - DÍAZ, Salvador Antonio. PhD
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

ENRÍQUEZ - ZÁRATE, Josué. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

HERNÁNDEZ - NAVA, Pablo. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica

CASTILLO - TOPETE, Víctor Hugo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

QUETZALLI - AGUILAR, Virgen. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD
Instituto Politécnico Nacional

PORTILLO - VÉLEZ, Rogelio de Jesús. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

ROMO - GONZALEZ, Ana Eugenia. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

VASQUEZ - SANTACRUZ, J.A. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

OCHOA - CRUZ, Genaro. PhD
Instituto Politécnico Nacional

SÁNCHEZ - HERRERA, Mauricio Alonso. PhD
Instituto Tecnológico de Tijuana

PALAFIX - MAESTRE, Luis Enrique. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

AGUILAR - NORIEGA, Leocundo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZALEZ - BERRELLEZA, Claudia Ibeth. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

REALYVÁSQUEZ - VARGAS, Arturo. PhD
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RODRÍGUEZ - DÍAZ, Antonio. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

MALDONADO - MACÍAS, Aidé Aracely. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

LICEA - SANDOVAL, Guillermo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

CASTRO - RODRÍGUEZ, Juan Ramón. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RAMIREZ - LEAL, Roberto. PhD
Centro de Investigación en Materiales Avanzados

VALDEZ - ACOSTA, Fevrier Adolfo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Samuel. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

CORTEZ - GONZÁLEZ, Joaquín. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

TABOADA - GONZÁLEZ, Paul Adolfo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RODRÍGUEZ - MORALES, José Alberto. PhD
Universidad Autónoma de Querétaro

Comité Arbitral

ESCAMILLA - BOUCHÁN, Imelda. PhD
Instituto Politécnico Nacional

LUNA - SOTO, Carlos Vladimir. PhD
Instituto Politécnico Nacional

URBINA - NAJERA, Argelia Berenice. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

PEREZ - ORNELAS, Felicitas. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

CASTRO - ENCISO, Salvador Fernando. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

CASTAÑÓN - PUGA, Manuel. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GONZÁLEZ - REYNA, Sheila Esmeralda. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

RUELAS - SANTOYO, Edgar Augusto. PhD
Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas

HERNÁNDEZ - GÓMEZ, Víctor Hugo. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

OLVERA - MEJÍA, Yair Félix. PhD
Instituto Politécnico Nacional

CUAYA - SIMBRO, German. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

LOAEZA - VALERIO, Roberto. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Uruapan

ALVAREZ - SÁNCHEZ, Ervin Jesús. PhD
Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada

SALAZAR - PERALTA, Araceli. PhD
Universidad Autónoma del Estado de México

MORALES - CARBAJAL, Carlos. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RAMÍREZ - COUTIÑO, Víctor Ángel. PhD
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica

BAUTISTA - VARGAS, María Esther. PhD
Universidad Autónoma de Tamaulipas

GAXIOLA - PACHECO, Carelia Guadalupe. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - JASSO, Eva. PhD
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD
Universidad Politécnica de Amozoc

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD
Universidad de Guadalajara

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GUTIÉRREZ - VILLEGAS, Juan Carlos. PhD
Centro de Tecnología Avanzada

HERRERA - ROMERO, José Vidal. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

MARTINEZ - MENDEZ, Luis G. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

LUGO - DEL ANGEL, Fabiola Erika. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

NÚÑEZ - GONZÁLEZ, Gerardo. PhD
Universidad Autónoma de Querétaro

PURATA - SIFUENTES, Omar Jair. PhD
Centro Nacional de Metrología

CALDERÓN - PALOMARES, Luis Antonio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

TREJO - MACOTELA, Francisco Rafael. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

TZILI - CRUZ, María Patricia. PhD
Universidad ETAC

DÍAZ - CASTELLANOS, Elizabeth Eugenia. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ORANTES - JIMÉNEZ, Sandra Dinorah. PhD
Centro de Investigación en Computación

VERA - SERNA, Pedro. PhD
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

MARTÍNEZ - RAMÍRES, Selene Marisol. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

OLIVARES - CEJA, Jesús Manuel. PhD
Centro de Investigación en Computación

GALAVIZ - RODRÍGUEZ, José Víctor. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

JUAREZ - SANTIAGO, Brenda. PhD
Universidad Internacional Iberoamericana

ENCISO - CONTRERAS, Ernesto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

GUDIÑO - LAU, Jorge. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

MEJIAS - BRIZUELA, Nildia Yamileth. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

FERNÁNDEZ - GÓMEZ, Tomás. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

MENDOZA - DUARTE, Olivia. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ARREDONDO - SOTO, Karina Cecilia. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

NAKASIMA - LÓPEZ, Mydory Oyuky. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

AYALA - FIGUEROA, Rafael. PhD
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

ARCEO - OLAGUE, José Guadalupe. PhD
Instituto Politécnico Nacional

HERNÁNDEZ - MORALES, Daniel Eduardo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

AMARO - ORTEGA, Vidblain. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ÁLVAREZ - GUZMÁN, Eduardo. PhD
Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

CASTILLO - BARRÓN, Allen Alexander. PhD
Instituto Tecnológico de Morelia

CASTILLO - QUIÑONES, Javier Emmanuel. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ROSALES - CISNEROS, Ricardo. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

GARCÍA - VALDEZ, José Mario. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

CHÁVEZ - GUZMÁN, Carlos Alberto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

MÉRIDA - RUBIO, Jován Oseas. PhD
Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital

INZUNZA - GONÁLEZ, Everardo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

VILLATORO - Tello, Esaú. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

NAVARRO - ÁLVEREZ, Ernesto. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

ALCALÁ - RODRÍGUEZ, Janeth Aurelia. PhD
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Juan Miguel. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

RODRIGUEZ - ELIAS, Oscar Mario. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

ORTEGA - CORRAL, César. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GARCÍA - GORROSTIETA, Jesús Miguel. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

Cesión de Derechos

El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Industrial emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Perú considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

Detección de Plagio

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homólogo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *El Mantenimiento Productivo Total “TPM” como factor para el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado*, por MORENO-VÁZQUEZ, Pedro & CALVILLO-VALDEZ, Oscar Daniel, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Calvillo & la Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes, como segundo artículo presentamos, *Desarrollo de una metodología para la actualización de máquinas CNC a bajo costo*, por MENDOZA PINTO, Luis Manuel & NOVELO MOO, Thelma, con adscripción en la Universidad Tecnológica Metropolitana, como tercer artículo presentamos, *Aplicación Industrial del análisis de vibraciones*, por CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique, ALCALÁ-BAROJAS Iván, VALDEZ-MARTÍNEZ Jorge Salvador, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto Miguel, LÓPEZ-VEGA Luís Jaime y RUMBO-MORALES Jesse Yoe, con adscripción en la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos, como cuarto artículo presentamos, *Equipo didáctico para la comprobación de la inestabilidad elástica en columnas*, por DURAN-SOSA, Ismael, MORALES-HERNÁNDEZ, Daniela, VELÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, Francisco Javier y VÁZQUEZ-ROSAS, Sergio, con adscripción en la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz.

Contenido

Artículo	Página
El Mantenimiento Productivo Total “TPM” como factor para el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado MORENO-VÁZQUEZ, Pedro & CALVILLO-VALDEZ, Oscar Daniel <i>Universidad Tecnológica de Calvillo</i> <i>Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes</i>	1-9
Desarrollo de una metodología para la actualización de máquinas CNC a bajo costo MENDOZA PINTO, Luis Manuel & NOVELO MOO, Thelma <i>Universidad Tecnológica Metropolitana</i>	10-15
Aplicación Industrial del análisis de vibraciones CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique, ALCALÁ-BAROJAS Iván, VALDEZ-MARTÍNEZ Jorge Salvador, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto Miguel, LÓPEZ-VEGA Luís Jaime y RUMBO-MORALES Jesse Yoe <i>Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos</i>	16-22
Equipo didáctico para la comprobación de la inestabilidad elástica en columnas DURAN-SOSA, Ismael, MORALES-HERNÁNDEZ, Daniela, VELÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, Francisco Javier y VÁZQUEZ-ROSAS, Sergio <i>Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz</i>	23-27

El Mantenimiento Productivo Total “TPM” como factor para el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado

Total Productive Maintenance "TPM" as a factor for the increase of productivity and the level of acceptance of the finished product

MORENO-VÁZQUEZ, Pedro†¹ & CALVILLO-VALDEZ, Oscar Daniel²

¹Universidad Tecnológica de Calvillo. Carretera al Tepetate N° 102 Colonia El Salitre, Calvillo, Aguascalientes

²Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes. Av. Universidad No.1001 Estación Rincón, Rincón de Romos, Aguascalientes

ID 1^{er} Autor: Pedro Moreno Vázquez / ORC ID: 0000-0001-8995-8140, CVU CONACYT ID: 665001

ID 1^{er} Coautor: Oscar Daniel Calvillo Valdez / ORC ID: 0000-0003-2760-9345, CVU CONACYT ID: 922690

Recibido 2 de Febrero, 2018; Aceptado 28 Marzo, 2018

Resumen

En la presente investigación se evalúa si una buena implementación de un programa de Mantenimiento Productivo Total beneficia significativamente el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado. Un mercado cada vez más competitivo exige productos de mayor calidad a un menor precio, lo cual obliga a las empresas a implementar filosofías de trabajo que las guíe a obtener una mayor eficiencia en todas sus áreas productivas. TPM tiene como principal objetivo la disminución de gastos en la reparación y mantenimiento de la maquinaria, el equipo y las instalaciones, sin importar que es una filosofía de trabajo que está ligada directamente con el área operativa, su implementación es un trabajo conjunto con las áreas administrativas y de apoyo de la empresa. Los resultados obtenidos permitieron conformar la importancia de la implementación de un programa de TPM dentro de una organización, logro hacer más eficientes los procesos productivos donde se implementó, se enfocó a disminuir los tiempos muertos y aumentar la calidad en los productos terminados, logrando una reducción de costos, basando todo esto en metodologías que ayuden a generar cargas de trabajo balanceadas que permitan tener un seguimiento correcto del programa.

Mantenimiento Productivo Total, Productividad, Producto Terminado

Abstract

In the present investigation it is evaluated if a good implementation of a program of Total Productive Maintenance significantly benefits the increase of the productivity and the level of acceptance of the finished product. An increasingly competitive market demands higher quality products at a lower price, which forces companies to implement work philosophies that guide them to obtain greater efficiency in all their productive areas, TPM's main objective is to reduce costs in the repair and maintenance of machinery, equipment and facilities. Regardless of what is a work philosophy that is directly linked to the operational area, its implementation is a joint work with the administrative and support areas of the company. The results obtained allowed to shape the importance of the implementation of a TPM program within an organization, achieve more efficient production processes where it was implemented, focused on reducing downtime and increase the quality of finished products, achieving a reduction of costs, basing all this on methodologies that help to generate balanced workloads that allow to have a correct follow-up of the program.

Total Productive Maintenance, Productivity, Finished Product

Citación: MORENO-VÁZQUEZ, Pedro & CALVILLO-VALDEZ, Oscar Daniel. El Mantenimiento Productivo Total “TPM” como factor para el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado. Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-3:1-9.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (pedro.moreno@utcalvillo.edu.mx)

Introducción

Actualmente las empresas líderes en el mercado y las que pretenden posicionarse en la misma condición, tienen que ser más competitivas, gran número de éstas, adoptan nuevas filosofías de trabajo, las cuales les ayudan a eliminar defectos en sus productos, fallas en sus procesos y la eliminación de los tiempos muertos. La implementación de estos programas no es un proceso rápido y fácil, debido a que las organizaciones deben invertir tiempo y dinero en la capacitación e implementación de dichos programas.

El Mantenimiento Predictivo Total (TPM) está dentro de las filosofías anteriormente mencionadas, debido a que en varias empresas de la ciudad de Aguascalientes (principalmente micro y pequeña empresa) no existe la cultura de la prevención en las tareas del mantenimiento de la maquinaria y equipo. Algunos empresarios tienen la idea errónea de que es menos costoso reparar las mismas una vez que fallan, no se generan bitácoras de mantenimientos correctivos, lo cual es una herramienta básica para generar datos históricos y comenzar a realizar mantenimientos preventivos.

Las investigaciones de TPM realizadas, tratan sobre la importancia de implementarlo dentro de cualquier organización, se comenta sobre la importancia de la reducción de paros no programados y las ventajas competitivas de ser constantes una vez implementado el programa, pero no muchos hablan sobre la importancia de medir las reducciones de los tiempos muertos existentes por fallas en la maquinaria y las piezas que se dejan de manufacturar por estas pérdidas de tiempo operativo. Además de no tomar en cuenta el número de piezas no conformes que se fabrican dentro de un proceso.

Fundamentos Teóricos

El Mantenimiento Productivo Total es uno de los sistemas fundamentales para lograr la eficiencia total cuyo resultado final es lograr un conjunto de equipos, maquinaria e instalaciones productivas y una reducción de las inversiones necesarias en ellos.

Esta implementación se logra gracias a la participación de todo el personal de la organización, en donde se conforman grupos y un departamento de implementación de TPM con el fin de tener control absoluto sobre este, realizarle el seguimiento respectivo y tomar las medidas correctivas necesarias para el mejoramiento del proceso de aplicación de este sistema; por lo tanto es fundamental contar con el apoyo total de la dirección en donde ésta también tenga participación activa dentro del proceso de cambio generando un compromiso más representativo al interior de la organización (López, 2009).

Las industrias de proceso japonesas introdujeron el mantenimiento preventivo (PM) relativamente pronto porque los volúmenes y tasas de producción, calidad, seguridad, y entorno dependen casi enteramente del estado de la planta y el equipo. Los sistemas de mantenimiento preventivo y productivo * introducidos por las industrias de proceso japonesas han tenido un papel importante en la mejora de la calidad del producto y en la productividad (Suzuki, 2017).

Las empresas modernas precisan ser competitivas para sobrevivir. Esta necesidad es especialmente importante en momentos de crisis económica e incertidumbre, donde las empresas requieren de flexibilidad para garantizar su rentabilidad, a través de ajustes en su estructura organizacional y productiva. Para conseguir aumentar la competitividad, muchas compañías se plantean estrategias como el TPM (Total Productive Maintenance) para la obtención de mejoras tangibles e intangibles en la organización que les ayuden a afrontar las dificultades del negocio (Marín-García, 2013).

Algunas de las características comunes entre el TPM y el Mantenimiento de Calidad Total (TQM) son compromiso necesario con el programa de gestión desde la dirección de la empresa, la facultad para iniciar medidas correctivas por parte de los empleados y los resultados que se dan a largo plazo. Los dos son procesos que no tienen resultados inmediatos (López, 2009). El TPM se orienta a crear un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un sistema que previene todas las pérdidas en todas las operaciones de las empresas.

Esto incluye cero accidentes, cero defectos y cero fallos en todo el ciclo de vida del sistema productivo. Se aplica en todos los sectores incluyendo producción, desarrollo y departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los integrantes de la empresa, desde la alta dirección hasta los niveles operativos. La obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos (López Arias, 2009).

Para Seiichi Nakajima, el precursor más importante del TPM en Japón y a nivel mundial, el Mantenimiento Productivo Total es el Mantenimiento Preventivo que se desarrolló en los Estados Unidos en los años 50`s, realizado por todos los empleados. “La innovación principal del TPM radica en que los operadores se hacen cargo del mantenimiento básico de su propio equipo. Mantiene sus máquinas en buen estado de funcionamiento y desarrollan la capacidad de detectar problemas potenciales antes de que ocasionen averías” (Nakajima, 1992).

El proceso TPM ayuda a construir capacidades competitivas desde las operaciones de la empresa, gracias a su contribución a la mejora de la efectividad de los sistemas productivos, flexibilidad y capacidad de respuesta, reducción de costos operativos y conservación del conocimiento industrial (Advanced Productive Solutions, 2009).

La aplicación del Mantenimiento Productivo Total busca que las organizaciones sean más competitivas en el mercado y tengan ventajas frente a los procesos de producción que tienen otras organizaciones, por esto es necesario buscar la máxima eficiencia productiva y el menor número de fallas, defectos y cero accidentes para alcanzar un rendimiento global, que permita que la compañía esté vigente en el mercado, generando mejoras que muestren su participación en la oferta y la demanda. Estos objetivos deben ser planteados desde la gerencia dentro de la planeación estratégica y así mismo deben estar alineados con la misión y la visión, apuntando siempre a la mejora continua de la organización mediante la generación de confianza al cliente externo con los mejores productos o servicios y el bienestar y participación activa de los clientes internos dentro de los procesos, ya que estos últimos reflejan lo que es la Organización. (López Arias, 2009).

Toyota tuvo éxito en la implementación del TPM, debido a que el punto de partida para aplicar cualquier proceso de cambio en cualquier empresa es llevar a cabo el empoderamiento junto con todo el personal desde el inicio con el fin de que éste se involucre y se familiarice totalmente con el cambio, facilitando así el proceso de implementación. Los empleados deben sentir que forman parte de la empresa, y para esto la organización debe crear confianza entre ellos brindándoles la autonomía necesaria para el desarrollo de sus funciones; educando y formando a las personas desde el nivel gerencial hasta el nivel operativo. “Algunos mencionan el capital como el recurso esencial para el desarrollo industrial, y otros mencionan la tecnología como el factor que incrementa la misma. Si bien estos recursos son importantes, el capital puede ser desperdiciado por las personas y la tecnología no sirve de nada sin personas que se comprometan y aprendan a utilizarla bien” (Miyai, 2008).

Como todas las actividades encaminadas a revitalizar las organizaciones, el objetivo del TPM es mejorar los resultados corporativos y crear lugares de trabajo gratos y productivos. Una característica importante del TPM es su efecto potencial sobre el umbral de rentabilidad. Sin embargo, cuando escuchan a otros hablar de «hacer beneficios a través del TPM», algunas personas concluyen que es un modo fácil de ganar dinero para la empresa. Esta actitud más bien pasiva no puede rendir buenos resultados. Solamente adoptando una actitud proactiva e invirtiendo el tiempo y dinero necesarios para hacer rentable un programa TPM, puede una empresa percibir beneficios tales como aumentar su productividad en 1,5 veces o en 10 veces la rotación sobre las inversiones (Suzuki, 2017).

No solo es importante desarrollar el talento humano sino también contar con la adecuada participación de la dirección en cuanto a dirigir, controlar y realizarle seguimiento al programa de implementación; porque la dirección es la que debe dar el ejemplo a seguir controlando las actividades bajo su cargo y así mismo reflejando este compromiso al resto de la organización, generando mayor compromiso por parte de todos; pero vale la pena repetir que no es solo cuestión de contar con el talento humano adecuado, sino con la alta dirección totalmente comprometida y dispuesta a seguir con esta actitud durante todo el proceso dando ejemplo en toda la empresa (Álvarez Laverde, 2008).

“TPM (Mantenimiento Productivo Total) es un Sistema de Gerencia de Mantenimiento, que busca la mejora continua de la maquinaria y el logro del 100% de eficiencia del proceso de producción, involucrando a todo el personal de la empresa. El Mantenimiento Productivo Total es una filosofía o forma de pensar, que cambia nuestras actitudes en la búsqueda de la eficiencia y mejora continua de la maquinaria y su entorno. Todos trabajaran como un solo equipo tras una meta común y la búsqueda de la mejora continua de las maquinarias. Cada persona será líder de un proyecto o tareas específicas, con roles que se puedan intercambiar según las necesidades de los programas de TPM. La Meta de este sistema es incrementar notablemente la productividad y al mismo tiempo levantar la moral de los trabajadores y su satisfacción por el trabajo realizado” (Empresa TPM, 2008).

El mantenimiento planificado normalmente se establece para lograr dos objetivos: mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas y lograr la eficacia y la eficiencia en costes. En un programa de desarrollo del TPM, el mantenimiento planificado es una actividad metódicamente estructurada para lograr estos dos objetivos (Suzuki, 2017).

Justificación

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una herramienta de gran importancia para las áreas productivas y de mantenimiento para cualquier empresa. El realizar una buena implementación de este programa puede traer a las organizaciones múltiples beneficios en la productividad y las ganancias económicas, además de brindar un crecimiento al personal operativo, esto con el fin de lograr aumentar los niveles de eficiencia y tener procesos mas controlados, lo cual representa tener menor variación en los procesos y productos fabricados, los cual da como consecuencia productos terminados de calidad y con mayor aceptación de los mismos en los clientes.

Al trabajar la maquinaria y equipo en las organizaciones, se tiene como objetivo principal que operen al 100% de su capacidad el mayor número de horas posibles, manejando los procesos con el número mínimo de fallas, con el fin de lograr mantener y si es posible aumentar la calidad de los productos y procesos.

Lograr que la maquinaria opere en las empresas a una capacidad del 100%, es una tarea complicada, debido a las distintas variables externas que se den de controlar dentro de la organización; paros programados para mantenimiento preventivo, problemas con las operaciones proveedoras, abastecimiento de materias primas, entre otras. Por ello es importante para las organizaciones implementar programas y filosofías de trabajo que lleven a una mejora continua en sus procesos y procedimientos de trabajo.

Cuando una empresa implementa un programa de TPM, por lo regular la productividad aumenta al eliminar tiempos muertos y paradas de los equipos, pero este resultado no surge de manera inmediata, es un proceso que en el lapso que va de los seis a los doce meses en su etapa inicial, permite comenzar a obtener más y mejores productos con la misma capacidad instalada. La maquinaria y equipos tienen también beneficios al aumentar la efectividad de los mismos por el constante mantenimiento que se les realiza durante todo su ciclo de vida.

En base a los antecedentes de las investigaciones realizadas, se puede ver que una cantidad importante de las micro y pequeñas empresas, no tienen implementado un programa de TPM en su organización, debido a la cultura de implementar mantenimientos correctivos, las empresas no cuentan con una planeación de actividades y trabajan conforme reciben proyectos.

Una vez que los empresarios comprendan la importancia negativa de solo realizar mantenimientos correctivos, tendrán la oportunidad de establecer mejoras implementando un programa de TPM, lo que se requiere es adaptar una nueva cultura de trabajo, con el fin de obtener como resultado una mejor operación de la maquinaria y equipo, la reducción de tiempos muertos y procesos con menos variación a causa de la maquinaria, lo que tiene como consecuencia un aumento en la calidad de los productos.

Planteamiento del Problema

¿En qué grado beneficia el Mantenimiento Productivo Total “TPM” el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado?

Hipótesis de Investigación

Las hipótesis de investigación del presente trabajo plantean lo siguiente:

- H₀: Una buena implementación de un programa de Mantenimiento Productivo Total no beneficia significativamente el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado.
- H₁: Una buena implementación de un programa de Mantenimiento Productivo Total si beneficia significativamente el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado.

Materiales y Métodos

Esta investigación se llevó a cabo mediante el método propuesto por Roberto Hernández Sampieri, como diseño cuasiexperimental de tipo prueba-posprueba con grupos de control. La investigación es en campo, se recolecta la información necesaria para realizar las inferencias pertinentes.

El procedimiento que se siguió, de manera general, incluye los siguientes pasos:

1. Obtención de la información mediante una prueba piloto para comenzar la implementación del programa TPM, con el fin de observar su comportamiento y resultados.
2. Analizar los resultados de la prueba piloto para encontrar diferencias en metodologías de trabajo y resultados.
3. Modificar rutinas de limpieza e inspección en caso de ser necesario.
4. En este apartado se analizan los datos obtenidos en la implementación de las rutinas de limpieza e inspección, esto con el principal objetivo de determinar si la implementación del programa TPM en el área piloto beneficia o no significativamente el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado.

Las variables utilizadas se midieron de la siguiente manera:

- Mantenimiento Productivo Total: Para convertirla en una variable cuantitativa se trabajó como tiempo de paros no programados por falla de la maquinaria y equipo y tiempo de ejecución de las rutinas de limpieza e inspección.
 - Productividad: Los estándares de producción son la forma de medir esta variable en el estudio, tomando como unidad de medida las piezas fabricadas por hora contra las piezas que están planeadas fabricar.
 - Nivel de Aceptación de Producto Terminado: La cantidad de producto no conforme es la forma de medir esta variable en el estudio.
5. Se trataron estadísticamente los datos con los paquetes de cómputo Microsoft Excel 2016 y Statgraphics Stratus para determinar si existía correlación entre el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado durante la implementación de un programa TPM.
 6. Se llevó a cabo una prueba de diferencia de medias entre los datos obtenidos antes y después de aplicar el tratamiento, determinando con esto si había un efecto significativo en los niveles de producción y los costos de las mismas.
 7. Se concentraron los resultados encontrados.
 8. Establecimiento de conclusiones.

Resultados

El presente caso es el grupo de control de la prueba piloto, el cual se lleva a cabo en la empresa Donaldson S.A. de C.V. en el proceso de Roscado del Baffle para el filtro de aceite de 92 mm de diámetro, el cual tiene tiempos elevados de paros por desajustes en la máquina Roscadora Cyber, además de contar con fallas por contaminación de rebabas y polvo en el proceso de roscado dentro de la máquina.

Figura 1 Estándar de Limpieza y Atención Básica

En la Figura 1, se observa la carta de estándar de limpieza y atención básica, en la cual se puede observar el diseño de la metodología de trabajo, mediante un conocimiento amplio del funcionamiento de la máquina Roscadora Cyber, esta se divide en áreas, componentes internos y externos para a su vez, nivelar cargas de trabajo tomando en cuenta a todo el personal que la opera, esto con el fin de no solo afectar el tiempo productivo de un turno.

Inicialmente la Roscadora Cyber tenía un promedio de cuatro paros no programados por turno, los cuales iban de desde los cuatro hasta los ocho minutos. Además de generar un 7.27% de producto no conforme.



Figura 2 Ayuda visual del Estándar de Limpieza y Atención Básica

En la Figura 2, se observa la ayuda visual del estándar de limpieza y atención básica, en la cual se pueden observar todas las partes tanto internas como externas de la Roscadora Cyber, inicialmente los operadores no se apoyaban en la ayuda visual y la tenían dentro de una carpeta, debido a que son los encargados de operar la máquina, creían conocer a perfección a la misma y el tiempo de ejecución de las rutinas de limpieza e inspección se elevaban hasta un 25% contra los tiempos programados, debido a que los operadores se desplazaban al lugar de la carpeta para ubicar las partes de la máquina que no identificaban.

ANÁLISIS DE LA DIFERENCIA DE MEDIAS DE ANTES Y DESPUES DE IMPLEMENTACIÓN DE TPM							
NIVEL DE PRODUCTIVIDAD				NIVEL DE NO ACEPTACIÓN PT			
DÍA	ANTES	DESPUES	RESULTADO	AUPRO	ANTES	DESPUES	RESULTADO
1	10	5		1	8	6	
2	13	5		2	9	5	
3	11	4		3	5	4	
4	12	3		4	4	5	
5	14	3		5	10	3	
6	13	2		6	6	2	
7	12	1		7	8	3	
8	12	2		8	6	2	
9	11	4		9	9	4	
10	10	3		10	6	2	
11	11	2		11	8	4	
12	13	4		12	7	3	
13	12	2		13	6	2	
14	14	2		14	9	2	
15	12	3		15	8	1	
PROMEDIO	12.00	3.00		PROMEDIO	7.27	3.20	

DESPUES DE LA IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA TPM, SE REDUJO UN 75% EL NUMERO DE PAROS NO PROGRAMADOS AL DIA, QUEDANDO TRES, DE LOS CUALES EL 82% DE LOS PAROS SON POR VARIACION EN LA ROSCA GENERADA POR VIBRACIONES A CAUSA DE LA TROQUELADORA JUL 150

SE REALIZAN AUDITORIAS EN PROCESO, EN DONDE BAJA UN 44.91% EL NIVEL DE PRODUCTO NO CONFORME.

Figura 3 Analisis comparativo de las medias antes y después de la implementación del programa TPM

La figura 3, muestra la información concentrada de los análisis numéricos de las medias aritméticas de las variables del nivel de productividad y el porcentaje de piezas defectuosas antes y después de implementar el programa de TPM. El nivel de productividad se tomaron registros de 15 días, cada día esta integrado por 3 turnos. Para el nivel de aceptación del producto terminado de la operación de la Roscadora Cyber, se tomaron en cuenta 15 auditorias en proceso de manera aleatoria de un mes antes y un mes después de implementar el programa de TPM.

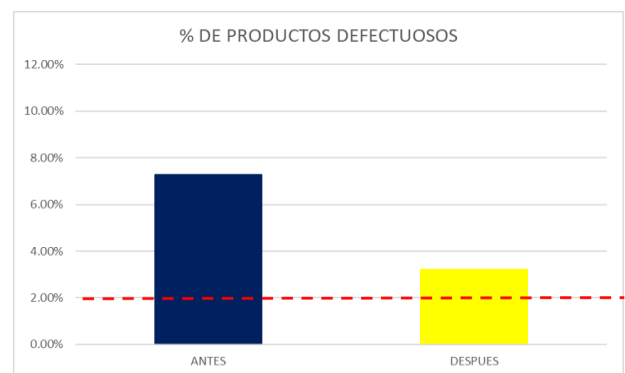


Figura 4 Gráfica del porcentaje de productos defectuosos antes y después del tratamiento

En la figura 4, se puede observar el comparativo del antes y el después de la implementación del programa TPM en la máquina Roscadora Cyber, el cual en un inicio tenía un 7.27% de productos defectuosos, después de implementarlo las primeras 5 semanas, el porcentaje de piezas defectuosas bajo a un 3.20%, lo que significa una mejora de 44.01% en la cantidad de piezas fabricadas. El objetivo de la empresa es de bajar a 2% el porcentaje de productos defectuosos. Al trabajar la Roscadora Cyber a su más alto rendimiento y manejando el proceso de producción con menos fallas y paros por suciedad dentro del proceso de roscado, se producen mejores partes y productos, logrando así una mejor calidad en los mismos.

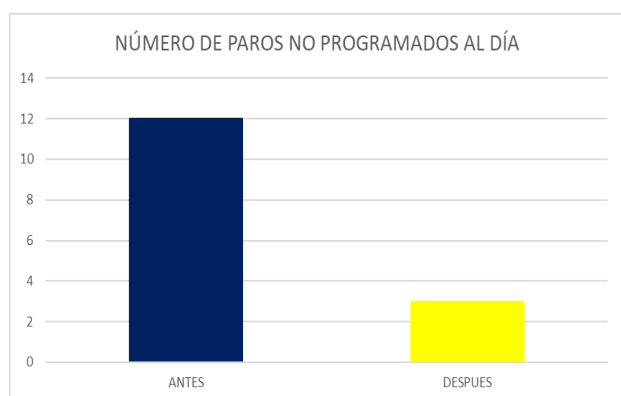


Figura 5 Gráfica del número de paros no programados al día antes y después del tratamiento

En la figura 5, se observa que antes de la implementación del programa TPM en la Roscadora Cyber, se tenía un promedio de cuatro paros no programados por turno, lo que da un total de doce paros programados al día. Después de la implementación del programa TPM, se redujo un 75% el número de paros no programados al día, quedando tres, de los cuales el 82% de los paros son por variación en la rosca generada por vibraciones a causa de la troqueladora JL-150, la cual tiene una fuerza de golpeo de 150 toneladas de fuerza, este problema se resuelve ajustando el sistema antivibratorio de la máquina troqueladora. Los paros a causa de piezas defectuosas por contaminación de polvo o grasa desaparecieron.

Para tomar una decisión en base a un análisis estadístico, se utilizó el software Statgraphics Stratus, en el cual se realizó un análisis de dos muestras, comparando el antes y el después del tratamiento.

Resumen Estadístico

	Antes	Después
Recuento	15	15
Promedio	12.0	3.0
Desviación Estándar	1.25357	1.19523
Coefficiente de Variación	10.4464%	39.841%
Mínimo	10.0	1.0
Máximo	14.0	5.0
Rango	4.0	4.0
Sesgo Estandarizado	0	0.457918
Curtosis Estandarizada	-0.517162	-0.595968

El StatAdvisor

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos. Pueden utilizarse otras opciones tabulares, dentro de este análisis, para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas.

De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado. Ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado.

Figura 6 Resumen estadístico para dos muestras de datos de antes y después del tratamiento

En la figura 6, se realiza un análisis estadístico para realizar comparativos de sesgo y curtosis estandarizados de las medias, los cuales sirven como base para comparar si las muestras provienen de dos distribuciones normales.

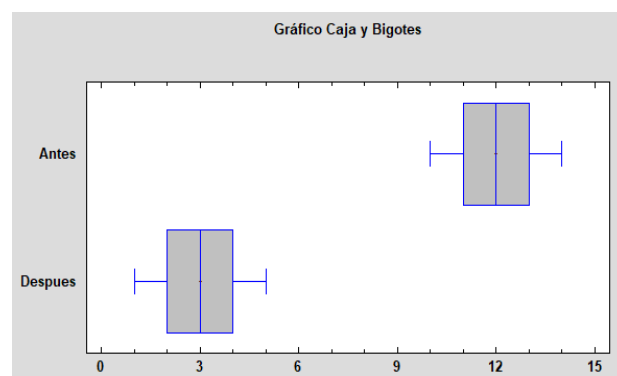


Figura 7 Gráfico de Caja y bigotes para dos muestras de datos de antes y después del tratamiento

En la figura 7, se comparan los gráficos de caja y bigotes para analizar si no existen datos aberrantes dentro del estudio, en dicho gráfico se puede observar un comportamiento normal en las dos muestras.

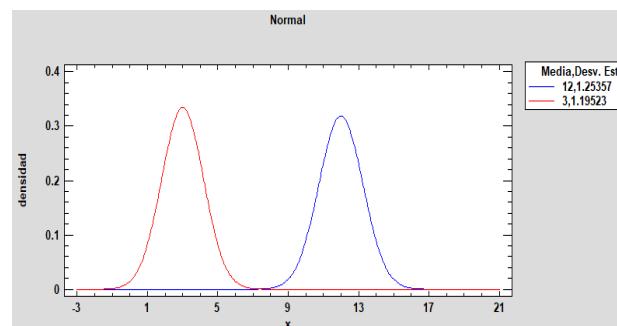


Figura 8 Análisis comparativo de la distribución para dos muestras de datos de antes y después del tratamiento

En la figura 8, se analizan las curvas de la distribución normal de las dos muestras, con el fin de evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas.

MORENO-VÁZQUEZ, Pedro & CALVILLO-VALDEZ, Oscar Daniel. El Mantenimiento Productivo Total "TPM" como factor para el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado. Revista de Ingeniería Industrial. 2018.

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Antes: 12.0 +/- 0.694203 [11.3058, 12.6942]
 Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Después: 3.0 +/- 0.661897 [2.3381, 3.6619]
 Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias
 suponiendo varianzas iguales: 9.0 +/- 0.916077 [8.08392, 9.91608]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2
 Hipótesis Alt.: media1 <> media2
 suponiendo varianzas iguales: t = 20.1246 valor-P = 0
 Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde 8.08392 hasta 9.91608. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95.0%.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0.0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

NOTA: estos resultados asumen que las varianzas de las dos muestras son iguales. En este caso, esa suposición parece razonable, con base en los resultados de la prueba-F para comparar las desviaciones estándar. Pueden verse los resultados de esta prueba seleccionando Comparación de Desviaciones Estándar del menú de Opciones Tabulares.

Figura 9 Análisis estadístico de la comparación de medias para dos muestras de datos de antes y después del tratamiento

En la figura 9, se ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos ó cotas de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0.0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

Conclusiones

Teniendo los resultados de la prueba piloto, se obtienen los incrementos de productividad de manera individual (un análisis por operador y por turno) para realizar una comparación de muestras múltiples. Realizando un análisis de varianza, el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables (Mantenimiento Productivo Total, Productividad, Nivel de Aceptación de Producto Terminado) a un nivel de confianza del 95.0%.

Con esta investigación que se llevó a cabo en una empresa del sector metal mecánico, se tuvo la oportunidad de conocer los procesos con mayor cantidad de paros no programados y producto no conforme generado en las diferentes etapas del sistema de producción, en los cuales se selecciona el proceso con mayor problemática para el abastecimiento de la línea de fabricación de filtros de aceite para maquinaria pesada.

Sin perder de vista que la investigación desde su inicio planteó si una buena implementación de un programa de Mantenimiento Productivo Total si beneficia significativamente el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado.

La prueba piloto ejecutada corrobora que la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa, lo cual significa que una buena implementación de un programa de Mantenimiento Productivo Total si beneficia significativamente el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado.

Esta investigación permitió confirmar que no basta con tener un programa de TPM dentro de una organización, se necesita tener una buena gestión del mismo, la cual se asegure que todos los operadores y personal de la planta comprendan la importancia de tener un buen control y seguimiento para poder asegurar el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente.

Comprender la importancia de seguir procedimientos de trabajo (rutinas de limpieza e inspección) para que el programa funcione, por no seguir estos procedimientos en la empresa, se realizaban las tareas con una demora de tiempo promedio del 25%, al apoyarse en el procedimiento de trabajo esta demora desaparece y los niveles de producción dentro de la empresa no se ven afectados porque el tiempo programado para realizar las actividades de TPM dentro de la estación de trabajo se respeta.

Los paros programados se reducen en un 55.82%, y el 75% de esos paros no son causa de factores relacionados directamente con problemas de un mal mantenimiento preventivo, son factores externos generados por estaciones de trabajo que están cerca de la Roscadora Cyber. El beneficio de la disminución de estos paros programados es la producción de entre 170 y 200 piezas más de producción dentro del turno, lo cual equivale a un 7.5% más de piezas fabricadas.

Referencias

Advanced Productive Solutions, S.L. TPM Aspectos generales. [online]. 2008.

EMPRESA TPM (2008). Implementación del TPM. <http://www.tpm.com>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la investigación (Vol. 3). México: McGraw-Hill.

Laverde, H. A. (2007). ¿Realmente qué es TPM?.

López Arias, E. A. (2009). El mantenimiento productivo total TPM y la importancia del recurso humano para su exitosa implementación (Bachelor's thesis, Facultad de Ingeniería).

López, E. (2009). El mantenimiento productivo total TPM y la importancia del recurso humano para su exitosa implementación. Trabajo de Grado Ingeniería Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.

Marín-García, J. A., & Mateo Martínez, R. (2013). Barreras y facilitadores de la implantación del TPM. In *Intangible Capital* (Vol. 9, No. 3, pp. 823-853). OmniaScience.

Miyai (2008). Centro de Productividad de Japón, En: *El Mantenimiento Productivo Total, herramienta o Política.*

<http://www.esinapsis.com.ar/Mantenimiento%20Mundial%201.htm>

Nakajima, S. (1992). Programa de desarrollo del TPM. *Madri: TGP Teconologia de.*

Roberts, J. A. C. K. (2013). TPM Mantenimiento Productivo Total, su definicion e historia. Departamento de Tecnología e Ingeniería Industrial Texas A&M University-Commerce.

Seiichi, N. (1991). Programa de desarrollo del TPM, implantación del mantenimiento productivo total.

Suzuki, T. (2017). TPM en industrias de proceso. Routledge.

Desarrollo de una metodología para la actualización de máquinas CNC a bajo costo**Development of a methodology for updating CNC machines at low cost**

MENDOZA PINTO, Luis Manuel†* & NOVELO MOO, Thelma

*Universidad Tecnológica Metropolitana, Calle 111 por 46 y 48 No.315, Col. Santa Rosa, C.P. 97279, Mérida Yucatán, Mexico*ID 1^{er} Autor: *Luis Manuel, Mendoza-Pinto* / ORC ID: 0000-0002-0786-2602, Researcher ID Thomson: T-3628-2018, CVU CONACYT-ID: 285132ID 1^{er} Coautor: *Thelma, Novelo-Moo* / ORC ID: 0000-0002-6383-9933, Researcher ID Thomson: T-4508-2018, CVU CONACYT-ID: 458937

Recibido 22 de Febrero, 2018; Aceptado 28 Marzo, 2018

Resumen

En el presente artículo mostramos la aplicación de una metodología que permite la actualización de máquinas CNC obsoletas, las cuales su tiempo de vida tecnológica para la parte de control electrónico ya ha terminado. La metodología explica que si la parte mecánica es aún utilizable entonces se puede rehabilitar el control utilizando un equipo de cómputo y otros dispositivos que se encuentran comercialmente disponibles. La característica de estos componentes es que al ser genéricos tiene un costo muy bajo y fácilmente se pueden conseguir. Se realizó la actualización de una máquina CNC aplicando y probando una metodología descrita para comprobar la efectividad de esta. Esta metodología se aplicó a la recuperación un CNC marca Boxford modelo DUET que se encontraba en desuso por estar obsoleto. Los resultados fueron satisfactorios al poder rehabilitar el equipo para beneficiar a estudiantes y académicos en la elaboración de prácticas para la enseñanza de Control Numérico.

Rehabilitación, CNC, CAM, Bajo Costo**Abstract**

The application of a methodology that allows the update of obsolete CNC machines, which their technological life time for the electronic control has already finished, is presented. The methodology explains that if the mechanical part can be used then the control can be rehabilitated using a computer equipment and other devices that are commercially available. The characteristic of these components is that being generic and it has a very low cost and they are easy to get. The updating of a CNC machine was carried out applying and testing a methodology described for the verification of its effectiveness. We applied the methodology to upgrade an CNC machine, model DUET brand Boxford that was off of use due to obsolescence. The results were satisfactory to be able to rehabilitate a team in the laboratory of the Metropolitan Technological University. In this way, We reactivate practices in Numerical Control teaching.

Rehabilitation, CNC, CAM, Low Cost

Citación: MENDOZA PINTO, Luis Manuel & NOVELO MOO, Thelma. Desarrollo de una metodología para la actualización de máquinas CNC a bajo costo. Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-3:10-15.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (luis.mendoza@utmetropolitana.edu.mx)

Introducción

Los sistemas de control numérico (NC) para máquinas herramienta constituyen un área importante de la manufactura de precisión. Así el Control Numérico Computarizado (CNC), Control Numérico Directo (DNC) y Fabricación Asistida por Computadora (CAM) representan estadios progresivamente avanzados en aplicaciones informáticas en el área de control de la máquina herramienta. (Athani & Vinod, 1986).

El diseñador generalmente usa un programa de Diseño asistido por computadora / Fabricación asistida por computadora (CAD / CAM) en una computadora para generar el archivo "G-code". El código G de salida del sistema CAM se transfiere al controlador de la máquina para la interpretación y el consiguiente control del movimiento de la herramienta. (Ankit Khanna, 2013)

Los controladores de máquina tradicionales (como Fanuc, Siemens) emplean sistemas CNC basados en PC o integrados que son muy robustos haciéndolos inaccesible para el uso de industrias de pequeña escala y usuarios de CNC de la base de la pirámide.

La modernización tecnológica en la industria actual depende en gran medida y sigue la integración de equipos CNC, que asume un papel preponderante en el desarrollo de las empresas. (Peixoto & Monteiro, 2018)

El avance de la tecnología en la parte electrónica ha demostrado que se pueden tener las mismas prestaciones de los equipos de CNC grandes con componentes de bajo costo.

En 2011 Chaides, et al. presentan los obtenidos en la restauración operativa de un torno de control numérico didáctico con 30 años de antigüedad. (Chaides, et al., 2011)

En 2013 Khanna et al. analizan el desarrollo de un sistema CNC de bajo costo capaz de operar interpolados simultáneamente en 6 ejes. El menor costo se logra al incorporar todas las características de un sistema CNC basado en microcontrolador o PC estándar en un sistema integrado basado en Arduino. (Khanna, et al., 2013).

En 2016 Dermani y Nategh buscaron agregar un código G al sistema CNC hexápodo para compensar el desgaste de la herramienta. (Dermani & Nategh, 2016).

En 2017 Prince, et al. presentaron un modelo asequible de una máquina trazadora CNC que es capaz de dibujar un diseño de circuito en PCB o cualquier otra superficie sólida usando un algoritmo simple y componentes disponibles (Prince, et al., 2017).

En 2018 Paprocki et al. presenta un sistema de control de máquina CNC basado en PC que se comunica con servoaccionamientos y dispositivos auxiliares de entrada. (Paprocki, et al., 2018).

En las máquinas modernas de CNC, todo el trabajo se lleva a cabo en integración con las computadoras, por lo tanto, es un sistema totalmente integrado en la computadora. (Patel, et al., 2018).

Por otro lado, en la informática industrial, existen varios tipos de software para Control Numérico por Computadora. (Rincón-Maltos, 2016).

Desarrollo

La rehabilitación de equipos obsoletos siempre presenta un reto para cualquier especialista técnico. Por lo que contar con una metodología que permita guiar a los especialistas es primordial para el éxito del proyecto. El método que se presenta es puramente cualitativo y permite por medio del análisis determinar la posibilidad de restauración del equipo, así como los pasos que se necesitan para completar la tarea.

El diagrama de la Figura 1 muestra una conceptualización de las partes de un CNC en forma general. Todo CNC tiene una parte electromecánica, una parte de control que puede ser proporcionado por un control integrado o por una computadora que hace el procesamiento y una tarjeta de interface que se encarga de enlazar la computadora con los drivers de los motores y recoger las señales de los sensores y enviarlas al computador. Los drivers tienen la función de mover los motores, los cuales pueden ser de pasos o de CD para CNC pequeños exclusivamente, sistemas robustos se utilizan servomotores.

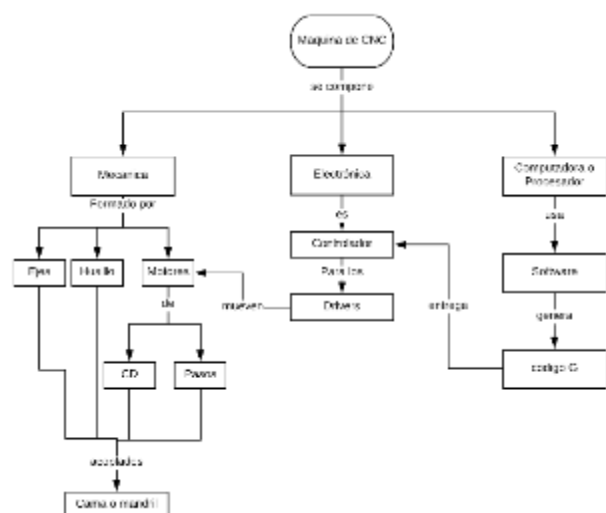


Figura 1 Diagrama conceptual del funcionamiento de un CNC

El método consiste en poder reemplazar la parte electrónica que es la que normalmente se vuelve obsoleta debido a los avances tecnológicos. El primer paso para lograr la rehabilitación es el análisis del CNC para determinar a través de pruebas físicas el estado de los componentes. La metodología parte del hecho de que la parte mecánica, que suele ser la más costosa, está en condiciones operativas o que requiere poca inversión y mantenimiento.

Para determinar el estado físico del CNC se recomienda utilizar una lista de verificación instrumento que permite de forma clara y rápida obtener información del equipo. Los puntos que se deben plantear en esta lista de verificación es la revisión física de los componentes como: los husillos de cada eje, acoplamiento de motores y husillos, tuercas de cada husillo, las guías de cada eje son importantes, se deberá observar que estos no tengan rayones y que se lubriquen adecuadamente. En esta revisión la información eléctrica es crucial porque de esta información se puede determinar las características de las tarjetas que se utilizarán para reemplazar la parte electrónica del CNC.

De acuerdo con el diagrama de flujo de la Figura 2 si la parte mecánica es reutilizable entonces el reemplazo de la parte electrónica es viable. Es importante en este punto poder determinar todas las funciones que se desean rehabilitar del CNC.

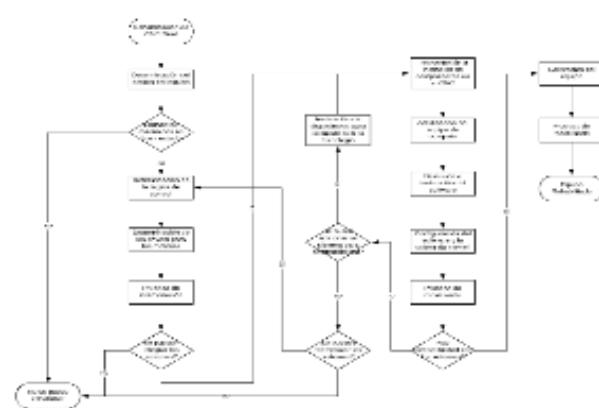


Figura 2 Diagrama de flujo para la actualización de un CNC

Dichas funciones a la que se refiere el párrafo anterior son aquellas como la bomba de refrigerante, las puertas automáticas, cambiador de herramientas, prensa neumática entre otros.

Se deben entonces determinar y evaluar las diferentes tarjetas de interface y drivers disponibles en el mercado a fin de que puedan cubrir las características de los motores instalados en el CNC.

Entre los datos que se deben tener y que son importantes se encuentran el tipo de motor para los ejes, el voltaje y amperaje de operación de los motores, el voltaje y potencia del motor del mandril, el número de ejes a controlar, definir procesos automáticos y procesos manuales. Como se puede observar en la Tabla 1, el costo de los componentes representa poca inversión y se encuentran disponibles comercialmente.

La metodología propone 5 fases para el cambio de los componentes, cada fase está complementada con una prueba.

Imagen	Componente	Cantidad	Precio	Observaciones
	Tarjeta de control de interface JP-845	1	4.50 USD	4 Ejes, PWM 0-10V, Paro de emergencia, 1 Relay integrado, Control Manual, 2 Salidas Digitales, Control de Carrera para 4 ejes. Alimentación 24 VCD
	Driver para motor a pasos TB6560A	3	6.00 USD	Hasta 3A y configuración de hasta 1/16 en el paso del motor. Alimentación 24VCD



	Driver para motor de CD DART 125DV-C	1	90 -100 USD	Hasta 1 HP, Voltaje de 0 a 180 VCD, Protección contra sobrecarga, Manual o con PWM 0 a 10 V, configurable para inversión de giro del motor.
	Fuente de Poder	1	40 USD	24 VCD, 20A, regulada con tierra física, interna.

Tabla 1 Propuesta de componentes para la parte electrónica de un CNC

Fase 1. Movimiento de un motor de pasos usando el driver seleccionado y cualquier microcontrolador genérico. Este paso se debe realizar para determinar los parámetros del motor como los pulsos y la dirección del motor que sean compatibles con el driver.

Comercialmente se utiliza, para las máquinas de grabado y laser CNC, el TB6560AHQ/AFG de la marca Toshiba® como driver es muy utilizado debido a que controlador de motor paso a paso tipo PWM, diseñado para el control de micropasos de entrada sinusoidal para motores paso a paso bipolares, es capaz de controlar la dirección hacia adelante y hacia atrás con baja vibración y alto rendimiento y sólo con una señal de reloj. Tiene control de habilitación y reinicio, así como protección térmica.

Fase 2. Movimiento de los 3 ejes usando los drivers y la tarjeta de interface. Configuración de la tarjeta con el software. Este paso se debe hacer con la tarjeta seleccionada y un software que pueden ser MACH3® para Windows ® o EMC2 para Linux, el primero ofrece un licenciamiento libre limitado para uso educacional o personal, el segundo tiene la ventaja de ser un programa de licencia libre por lo que lo hace muy atractivo para la implementación. La configuración debe realizarse conforme lo especifique el fabricante de la tarjeta de control.

Fase 3. Movimiento del motor mandril. En esta fase es necesario utilizar un controlador que cumpla con las características de voltaje y potencia que sea compatible con el motor del mandril. Existen una variedad amplia de controladores y que dependerán de las dos características antes descritas, pero también de la forma de control, automático o manual.

Para el primero es necesario considerar que la tarjeta de control tenga esta funcionalidad, así como la compatibilidad entre el driver y la tarjeta, es importante lograr esta última por lo que a veces se usan componentes adicionales. Finalmente, se debe considerar el uso de un tacómetro electrónico para lograr el control de la velocidad del motor.

Fase 4. Movimiento del conjunto ejes y mandril en el CNC, con un programa de CNC al vacío. La elaboración de un programa sencillo que muestre las capacidades del conjunto trabajando es importante. Cualquier programa es válido como el que se muestra en la Figura 3.

```

N010 G15 G17 G40 G21 G90 G94 G54 G49 G99 G64
N020 M03
N030 G97 S2500
N040 G4 P5
N050 G00
N060 X 10
N070 Y5
N080 Z -5
N090 S0
N100 G4 P5
N110 Z 0
N120 M04
N130 S2500
N140 G4 P5
N150 X0
N160 Y0
N170 S0
N180 G4 P5
N190 Z5
N200 Z0
N210 S0
N220 M03
N230 M30

```

Figura 3 Programa CNC para prueba del conjunto de control

Al elaborar el programa hay que asegurarse de que los movimientos sean cortos y que únicamente servirán para comprobar la operación del sistema. Derivado de lo anterior se deberán ajustar los pulsos, la dirección, de los motores de los ejes, y se calibrará la velocidad y dirección del mandril como paso final.

Fase 5. Ejecución de un programa de CNC para la manufactura de una pieza. Finalmente, en esta etapa se deberá elaborar piezas conocidas dimensionalmente y que puedan servir para hacer un estudio R-R de la máquina a fin de poder definir la calidad del maquinado que ofrece.

Resultados

Para poder comprobar la eficacia de la metodología antes descrita se rehabilitó un CNC marca Boxford modelo DUET, poco robusto, de uso didáctico y que a un bajo costo se desea volverlo operativo nuevamente

El análisis demostró que se puede rehabilitar el equipo y por lo tanto se procedió a la selección de componentes como se puede ver la figura 4, los componentes seleccionados son de bajo costo y permiten la integración de los sistemas.

La integración de los sistemas se pudo realizar instalando todos los componentes en un gabinete.

Se utilizó un software que puede ser de uso libre o se puede adquirir una licencia en caso de que los programas en código G sean muy extensos. El software MACH3® es ampliamente utilizado en máquinas CNC hechas a medida y modernizadas (Galantucci, et al., 2015).

Se realizaron programas para las pruebas descritas en la metodología.

En la fase 1 se logró el movimiento de un motor y como controlador se utilizó un microcontrolador Arduino Nano, el ajuste de los micropasos fue crucial y determinante. La información del driver fue suficiente para entender las conexiones que se necesitaban realizar para prueba y lograr el funcionamiento del motor.

En la fase 2 se realizó la integración de la tarjeta de interfase. Lo complicado de esta parte fue que la información disponible de la tarjeta estaba disponible únicamente en mandarín y se llevó un tiempo la traducción para poder interpretar las conexiones

El resultado en esta fase fue el movimiento de los ejes X, Y, Z hasta este momento, no los ejes se desplazaban, pero no tenía la medida correcta, como indica Ambrizal, et al. Se logra un cierto posicionamiento (Ambrizal, et al., 2017) En las fases siguientes se realizó la calibración inicial de los ejes para obtener las medidas deseadas.

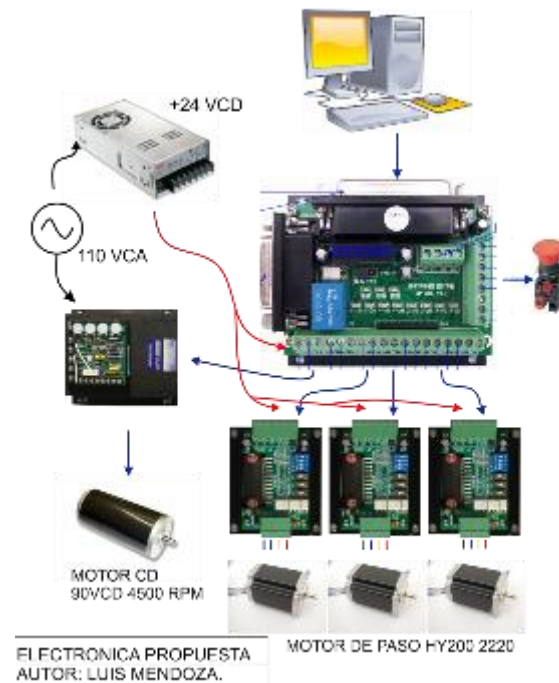


Figura 4 Propuesta de reemplazo de la electrónica de un CNC

Fases siguientes se realizó la calibración inicial de los ejes para obtener las medidas deseadas.

En la tercera fase de pruebas se dividió en dos partes, en la primera parte la posibilidad de mover el motor de CD del mandril aun de forma manual permitía ya en sí el uso del CNC, el resultado positivo permitió realizar la segunda parte. En esa segunda parte se realizó el control del motor a través del PWM de la tarjeta, el módulo PWM proporciona la onda PWM requerida para el puente H como indica Yan, et al., (Yan, 2012) por lo que se pudo activar el motor de CD.

En la fase 4 de pruebas los resultados obtenidos fueron satisfactorios, se logró el movimiento de todo el conjunto, ejes y mandril, a través del programa diseñado, no se observó ninguna disminución en velocidad o movimiento, tampoco se llegó a la condición de “stall” en los motores de paso.

Finalmente, la última fase de pruebas consistió en manufactura de una pieza con el equipo. La pieza obtenida sencilla con un programa corto, mostró que el equipo ya estaba en condiciones de operar al obtenerse una pieza manufacturada a través del equipo.

Conclusiones

La metodología presentada funciona adecuadamente para equipos que tienen baja precisión y se usan materiales suaves, las funciones son básicas, el costo del reemplazo de los componentes es bajo (Kussul, 2004).

El reemplazo y configuración de los componentes se logró y las pruebas aplicadas mostraron que el equipo se ha rehabilitado y funcionando para las tareas básicas de maquinado.

De los resultados podemos observar que el reemplazo de la electrónica fue posible por una de menor costo, que es compatible con la parte mecánica del CNC, así como fue posible la reutilización del equipo de CNC para la fabricación de partes.

Se observó también a partir de los resultados que la calibración del equipo fue realizada permitiendo la manufactura de la pieza con la precisión que otorga un equipo de CNC

En trabajos futuros está pendiente la realización de un estudio estadístico para verificar la precisión del CNC. Comprobar la constante de velocidad de los ejes, valor F en el código G, y la velocidad del spindle, valor S en el código G, para poder utilizar el ajuste automático y control con PID del software de control.

Referencias

Ambrizal, N. H., Farooqi, A., Alsultan, O. I., & Yusoff, N. B. (2017). Design and Development of CNC Robotic Machine Integrate-able with Nd-Yag Laser Device. *Procedia Engineering*, 145–155.

Ankit Khanna, A. K. (2013). Low-Cost Production CNC System . *Proceedings of 7th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO 2013)*, 523-528.

Athani, V., & Vinod, H. (1986). A CNC system for a lathe using a low cost PC. *Computers in Industry*, 427-434.

Chaides, O., Avila, S., & Ahuett-Garza, H. (2011). Restauración de Torno de Control Numérico Empleando Software Libre. *Conciencia Tecnológica*, 62-67.

Dermani, H. S., & Nategh, M. J. (2016). Upgrading the CNC system of hexapod machine tool by adding the five axis tool radius compensation. *Revista de Ingeniería Mecánica* , 93-98.

Galantucci, L., Piperi, E., Lavecchia, F., & Zhavo, A. (2015). Semi-Automatic Low cost 3D Laser scanning systems for reverse engineering . *Procedia CIRP* 28, 94-99.

Khanna, A., Kumar, A., Bhatnagar, A., Tyagi, R., & Srivastava, S. (2013). Low-cost production CNC system. *7th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)* (págs. 523-528). Coimbatore: IEEE.

Kussul, E. e. (2004). CNC machine tools for low cost micro devices manufacturing. *J. appl. res. technol [online]*, 2(1), 76-91 ISSN 2448-6736.

Paprocki , M., Wawrzak, A., Erwiński, K., & Kłowskiak, M. (2018). Flexible PC-based CNC machine control system. *Mechanik*, 299-303.

Patel, D. R., Prajapati, C. B., R., P. S., V, P. S., & Parikh, K. (2018). Fabrication of Low Cost CNC Engraving Machine . *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)* , 6(IV), 4850-4855.

Peixoto, J., & Monteiro, C. (2018). Low Cost CNC Equipment Supporting Teaching/Learning Activities. En M. J., S. F., & V. G., *Innovation, Engineering and Entrepreneurship* (págs. 1111-1117). Cham: Springer International Publishing.

Prince, M. K., Ansary, M.-A.-M., & Mondol, A. S. (2017). Implementation of a Low-cost CNC Plotter. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* , 333-339.

Rincón-Maltos, G. (2016). Rehabilitation and improvement of Boxford DUET CNC. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 3(6).

Yan, W. W. (2012). The PWM speed regulation of DC motor based on intelligent control. *Systems Engineering Procedia*, 259-267.

Aplicación Industrial del análisis de vibraciones

Industrial Application of vibration analysis

CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique†*, ALCALÁ-BAROJAS Iván, VALDEZ-MARTÍNEZ Jorge Salvador, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto Miguel, LÓPEZ-VEGA Luís Jaime y RUMBO-MORALES Jesse Yoe

Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos, División Académica de Mecánica Industrial, Av. Universidad tecnológica No. 1 Col. Palo Escrito, Emiliano Zapata Morelos, C.P. 62760 Tel 777 368 11 65

ID 1^{er} Autor: *Enrique Contreras Calderón* / CVU CONACYT ID: 92201

ID 1^{er} Coautor: *Iván Alcalá Barojas* / CVU CONACYT-ID: 99182

ID 2^{do} Coautor: *Jorge Salvador Valdez Martínez* / CVU CONACYTID: 297957

ID 3^{er} Coautor: *Alberto Miguel Beltrán Escobar* / CVU CONACYT ID: 265509

ID 4^{to} Coautor: *Luís Jaime López Vega* / CVU CONACYT ID: 416494

ID 5^{to} Coautor: *Jesse Yoe Rumbo Morales*

Recibido 20 de Febrero, 2018; Aceptado 30 Marzo, 2018

Resumen

Con el avance en la automatización, la electrónica y las pruebas de medición no destructivas y el desarrollo de nuevas tecnologías las plantas de producción han cambiado del uso de métodos correctivos y preventivos a un mantenimiento predictivo lo que requiere de personal con una mayor preparación no solo en la operación de las máquinas, sino también desde el punto de vista del mantenimiento industrial. En la presente investigación se plantea la aplicación del análisis de vibraciones en una industria papelerera con el fin de implementar el mantenimiento predictivo. La primera actividad realizada consistió en la identificación de maquinaria y equipo, así como las áreas donde se localiza. Posteriormente se determinaron los puntos de medición de los equipos y se realizaron las mediciones correspondientes con un equipo de adquisición de datos en tiempo real DigivibeMx. Se analizaron y almacenaron los datos para generar un historial de mediciones para en un futuro reducir paros repentinos de máquinas, costos de refacciones y mano de obra.

Mantenimiento predictivo, Vibraciones, Industria papelerera, DigivibeMX

Abstract

With the advance in automation, electronics and nondestructive measurement tests and the development of new technologies, production plants have changed from the use of corrective and preventive methods to predictive maintenance, which requires personnel with a greater preparation not only in the operation of the machines, but also from the point of view of industrial maintenance. In the present investigation, the application of vibration analysis in a paper industry is proposed in order to implement predictive maintenance. The first activity consisted in the identification of machinery and equipment, as well as the areas where it is located. Subsequently, the measurement points of the equipment were determined and the corresponding measurements were made with a DigivibeMx real-time data acquisition equipment. The data was analyzed and stored to generate a history of measurements for the future to reduce sudden stoppages of machinery, spare parts and labor costs.

Predictive maintenance, Vibrations, Paper industry, DigivibeMX

Citación: CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique, ALCALÁ-BAROJAS Iván, VALDEZ-MARTÍNEZ Jorge Salvador, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto Miguel, LÓPEZ-VEGA Luís Jaime y RUMBO-MORALES Jesse Yoe. Aplicación Industrial del análisis de vibraciones. Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-3: 16-22.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (enriquecontreras@utez.edu.mx)

Introducción

Penkova (2007) menciona que el mantenimiento consiste en una serie de actividades con cuya ejecución se logra alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles e instalaciones, preserva sus funciones y afecta todos los aspectos de una organización: disponibilidad y costos, seguridad, integridad ambiental, eficiencia energética y calidad de productos. Entonces, el objetivo del mantenimiento de máquinas y equipos se puede definir como conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo costo y con el máximo de seguridad para el personal que las utiliza y mantiene. Desde hace más de cuarenta años el mundo ha venido implementando y perfeccionando las tecnologías predictivas, cuya base conceptual radica en la intervención de la máquina cuando lo justifique la presencia de síntomas objetivos del deterioro de su condición mecánica Palomino (1997).

El mantenimiento predictivo realiza un seguimiento de cada una de las variables relacionadas con el funcionamiento de las máquinas para poder predecir posibles fallas y tomar las acciones correctivas más apropiadas en el momento oportuno. A pesar del alto costo que implica el desarrollo del mantenimiento predictivo, hoy en día es el tipo de mantenimiento más implementado en las industrias gracias a la ventaja que posee de poder mostrar en cualquier instante de tiempo el estado general de cada una de las máquinas de la planta permitiendo controlar su óptimo funcionamiento Olarte (2010)

El análisis de vibraciones, permite diagnosticar el estado de las máquinas y sus componentes mientras funcionan normalmente dentro de una planta de producción, es una de las tecnologías más utilizadas en el mantenimiento predictivo de las máquinas rotativas.

Las vibraciones anómalas suelen ser una primera indicación de una posible falla en las máquinas (SKF 2018). Algunas de las causas de esas vibraciones son el desequilibrio, la desalineación, las piezas flojas, el deterioro del rodamiento y los daños en los engranajes. Los instrumentos y sistemas de análisis de la vibración ayudan a detectar muchos problemas graves en su fase inicial, permitiendo al personal realizar labores correctivas a tiempo.

Con el desarrollo de la tecnología, en el mercado se consiguen equipos analizadores de vibración y paquetes informáticos que agilizan y facilitan el análisis de vibraciones, porque entregan al usuario las gráficas de las señales de las vibraciones ya sea en el dominio del tiempo o la frecuencia para que se pueda realizar su interpretación y emitir un diagnóstico acertado. Energiza (2018)

Descripción general de la planta

Una planta de producción de papel está conformada principalmente por cuatro áreas, las cuales son:

1. Pastas.
2. Máquina de papel N°3.
3. Máquina de papel N°4.
4. Calderas

En la primera área entra la materia prima virgen, papel y cartón que se va a reciclar para convertirlo en una pasta o pulpa. En la figura 1 se muestra el layout de esta área.

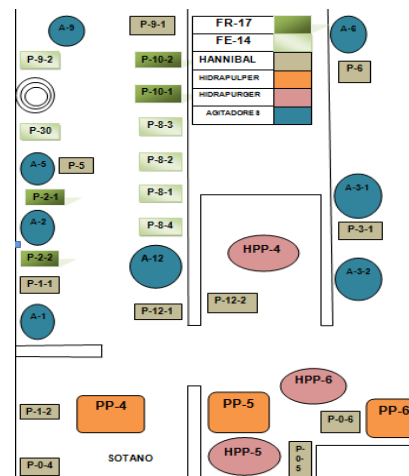


Figura 1 Layout área de pasta

La maquinaria se identifica con la siguiente designación:

- Marcados con la letra A: 8 Agitadores.
- Marcados con las letras PP: 3 Hidrapulper.
- Marcados con la letra P: 19 Bombas
- Marcados con las letras HPP: 3 Hidrapurgues.

La elaboración de papel se lleva a cabo en las máquinas de papel 3 y 4, ambas tienen el mismo proceso de producción y están compuestas por una mesa de formación (Figura 2) en donde unos rodillos de tela son encargados de comprimir la pasta para darle la forma de papel.

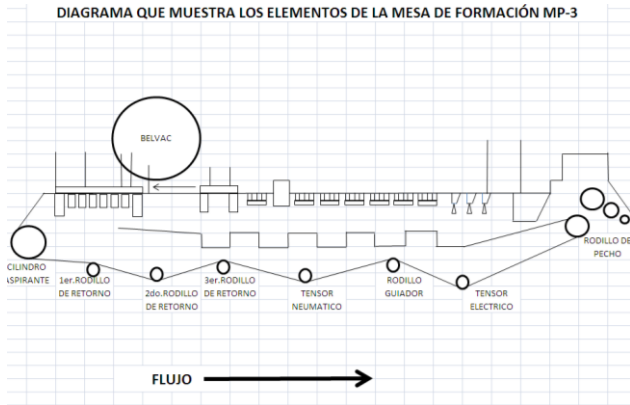


Figura 2 Mesa de formación tela inferior

El siguiente proceso está conformado por tres secciones de prensas inferiores y superiores encargadas de estirar y comprimir el papel al tamaño deseado.

Los secadores (Figura 3) son los encargados de disminuir los niveles de agua en el papel mediante calor. Cada una de las máquinas se conforma de 4 secciones con 8 rodillos y 10 tensores cada una.

1ra. SECCION DE SECADORES LONA INFERIORES Y SUPERIORES MP-3

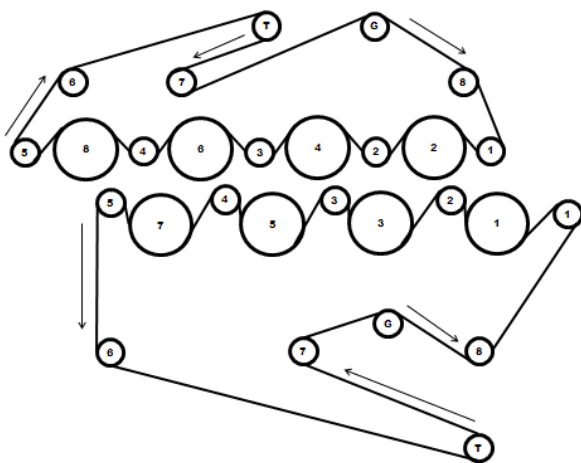


Figura 3 Sección de secadores

La bobinadora es el proceso final donde se enrolla el papel ya terminado y es dividido de acuerdo a las especificaciones del cliente, esta área de las máquinas también cuenta con rodillos y equipos, a los cuales se les necesita realizar un análisis de vibración para su óptimo desempeño.

Para realizar todo este proceso se requieren 7 calderas (5 de operación y 2 de apoyo), las cuales son las encargadas de proporcionar las condiciones adecuadas de temperatura del agua para el proceso.

La empresa cuenta con un sinnúmero de maquinaria y equipo rotativo, reductores de velocidad, motores, bombas y chumaceras que requieren un monitoreo constante para identificar su condiciones mecánicas de operación

En todas las áreas los equipos trabajan a temperatura, velocidad y cargas distintas; por esto es importante el análisis de vibraciones para garantizar un óptimo desempeño en los equipos de acuerdo a los requerimientos especificados en el manual de cada equipo.

Equipo de adquisición de datos

Para llevar a cabo la obtención de las señales de vibración se cuenta con un equipo adquirente de datos (Figura 4) el cual está integrado por:

- Una laptop
- Programa DigivibeMX.
- Sensor de vibraciones.
- Acondicionador de señal.
- Cable de RCA.
- Pirómetro (para toma de temperaturas).



Figura 4 Equipo adquirente de datos

El software utilizado fue DigivibeMX. Es una aplicación de análisis de vibración en tiempo real, así como de balanceo dinámico industrial de uso fácil Digivibe (2018). Las características técnicas del equipo que se empleó para obtener las mediciones se muestran a continuación:

DIGIVIBEMX M30 (Equipo adquirente de datos)

- Herramientas para análisis predictivo
 - Estructuras y bases de herramientas.
 - Bases de rodamientos con dimensiones y velocidades de trabajo
 - Herramientas de interpretación y diagnóstico.

- Análisis de poder espectral FFT
 - Millones de puntos de resolución.
 - Espectrograma
 - Herramientas de interpretación y diagnóstico.
- Análisis avanzado de funciones
 - Diagrama de BODE.
 - Amplitud vs tiempo.
 - Pruebas de impacto.

SOFTWARE DIGIVIBE MX30

Es un software empleado para análisis de vibraciones y balanceo dinámico. Es intuitivo y muy fácil de utilizar. Incluye las siguientes herramientas:

- Análisis avanzado de vibración.
- Espectro FFT.
- Gráficas de vibración en tiempo real.
- Frecuencia de vibración en rodamientos.
- Reportes automáticos de análisis y balanceo.

Requiere:

- Procesador Intel a 1.60 GHz
- 1 GB RAM
- Windows 7.
- SVGA display.
- Puerto USB

ACONDICIONADOR DE SEÑAL I600 IP67 DIGIVIMEMX

- Peso: 150 gr.
- Dimensiones: 70(D) X 75(W) X 20 (H).
- 2 conectores de 5 pin para acelerómetros.
- 1 Conector de 4 pin para laptop.

DIGIVIBEMX INTERFACE USB CABLE (C-USB-4L)

- Cable de 4 pin con entrada USB

ACELERÓMETRO PARA DIGIVIBEMX

- Peso: 51 gr.
- Diámetro: 16 mm
- Sensibilidad: 100 mV/g.
- Rango de frecuencia: 1 Hz – 20 kHz.
- Amplitud de rango: 0.0001 – 50 g.
- Ejes 1

PIRÓMETRO IR FLUKE 59 MAX

- Rango de temperatura: -30 °C a 350 °C (-22 °F a 662 °F)
- Tiempo de respuesta: 500 ms.
- Respuesta espectral: 8 – 14 mm.
- Resolución en pantalla: 0.01 °C.
- Repetibilidad: ± 0.5 °C.
- Peso 220 gr.
- Dimensiones: 156 X 80 X 50 mm.

Diagrama de conexiones

Para realizar las mediciones de vibración el equipo se conecta como se muestra en el diagrama 5:

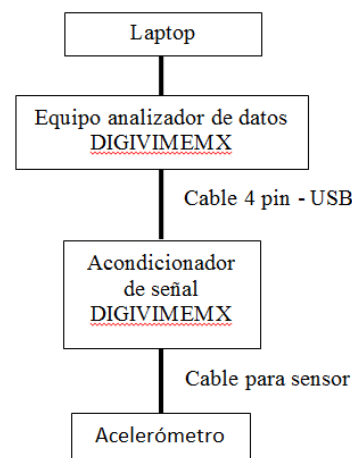


Figura 5 Diagrama de conexiones

Para la medición de temperatura, está se llevó a cabo mediante infrarrojo, basta con apuntar con el láser el punto de medición de temperatura y este se registra en el pirómetro.

Determinar puntos de medición

Para llevar a cabo la toma de datos en los rodillos se debe tener en cuenta el diagrama de la figura 6 ya que en este se muestran los puntos sobre los cuales se deben de colocar los acelerómetros.

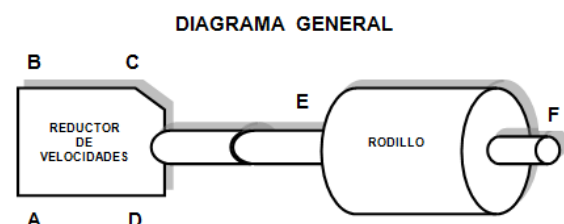


Figura 6 Puntos de medición en rodillos

Dónde:

A y B corresponden al motor eléctrico.
C y D corresponden a un reductor de velocidad.
E y F corresponden al equipo en movimiento (rodillos, secadores).

Las lecturas de los datos medidos se capturaron en el programa Digivibe Mx

Para lograr lo obtención de datos de las bombas es necesario tener en cuenta los puntos de medición, los cuales se muestran en la figura 7:

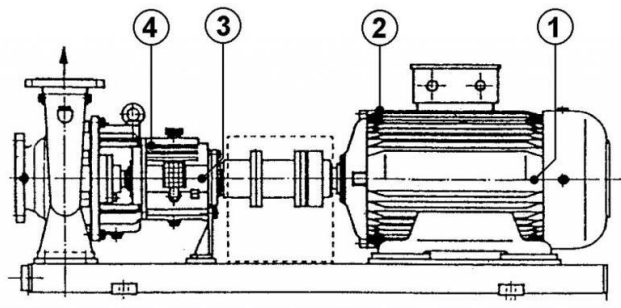


Figura 7 Diagrama de puntos medición de vibraciones en bombas

Dos de los puntos a medir se encuentran en el motor, uno en la parte vertical y el otro en la parte horizontal. Los otros dos puntos se pueden encontrar en el cuerpo de la bomba para lograr de igual manera obtener los datos. Para el área de calderas solo se necesitaron tomar en cuenta dos puntos, ya que estas trabajan con motores.

Los puntos de medición número 1 y 2 son de las chumaceras y de los agitadores en esta los datos se pueden tomar ya sea colocando el sensor en la parte superior de esta o en una de las caras laterales, como se muestra en la figura 8.

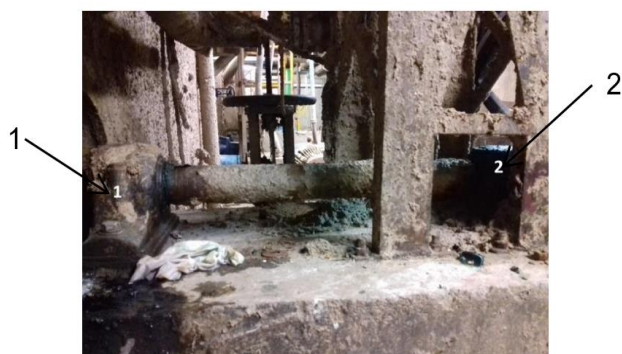


Figura 8 Agitador y puntos a medir

Para lograr obtener los datos de los refinadores se necesitó como primer paso; identificar el lugar en el cual se encuentran los rodamientos, posteriormente se procedió a realizar la obtención de datos.

De igual forma se procedió a la localización de puntos de medición en los demás equipos y maquinaria determinando si la medición sería:

- Horizontal o vertical.
- Horizontal y vertical.
- Horizontal, vertical y axial.

Registro de mediciones

El programa digivibeMX mostró en pantalla una serie de gráficas del equipo y el valor RMS (root-mean-square); que se refiere a la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los valores de la onda. El valor RMS se utiliza para medir la energía de la forma de onda (Figura 9). Valor que se registró en tablas diseñadas previamente.



Figura 3.5 Graficas y valor RMS

Figura 9 Registro de mediciones de vibración

Las tablas de registro muestran en la parte superior de la hoja el nombre de la zona que se está registrando, además del equipo en específico, la fecha en que se llevaron a cabo las mediciones y también se puede observar la ubicación de los puntos a los que se le tomaron lecturas de vibraciones:

A continuación se muestran en la tabla 1 los resultados de mediciones obtenidas en el área de agitadores, rodillos y calderas.

AGITADORES														
						Kw								
A-6			07/03/2018			07/03/2018			A-3-1			07/03/2018		
		A	B	A	B			A	B	A	B			
HORIZONTAL		97	1.33	72	84	HORIZONTAL		6	.39	.72	37			
VERTICAL		81	1.47	.75	.57	VERTICAL		68	.88	.84	.28			
TEMPERATURA		34	53	26	27	TEMPERATURA		39	34	31	32			
						Kw								
A-3-2			07/03/2018			07/03/2018			A-12			07/03/2018		
		A	B	A	B			A	B	A	B			
HORIZONTAL		1.74	1.17			HORIZONTAL		83	.32	1.57	.26			
VERTICAL		.72	.82			VERTICAL		1.54	.43	.97	1.32			
TEMPERATURA		.34	.30			TEMPERATURA		39	42	36	37			
						Kw								
A-5			08/03/2018			08/03/2018			A-2			08/03/2018		
		A	B	A	B			A	B	A	B			
HORIZONTAL		1.81	.97			HORIZONTAL		1.96	.9	1.13	.82			
VERTICAL		4	1.93			VERTICAL		1.01	1.38	1.05	1.01			
TEMPERATURA		34	39			TEMPERATURA		39	41	38	34			
						Kw								
A-1			08/03/2018			08/03/2018			08/03/2018			08/03/2018		
		A	B	A	B			A	B	A	B			
HORIZONTAL		89	.51	.97	.44									
VERTICAL		85	.72	.94	.56									
TEMPERATURA		35	47	39	38									

MESA DE FORMACIÓN											
1786 R.P.M.						1786					
			10 Kw						105 Kw		
		E	F	E	F			E	F	E	F
HORIZONTAL		.26	.34			HORIZONTAL		.74			
VERTICAL		.32	.57			VERTICAL		.54			
AXIAL		.22	.45			AXIAL		.64			
TEMPERATURA		30	29			TEMPERATURA		31	29		
1786 R.P.M.						1786 R.P.M.					
			105 Kw						10 Kw		
		E	F	E	F			E	F	E	F
HORIZONTAL			1.37			HORIZONTAL		.61			
VERTICAL			.59			VERTICAL		.47			
AXIAL			1.26			AXIAL		.77			
TEMPERATURA		32	29			TEMPERATURA		30	26		

1786 R.P.M.						1786 R.P.M.					
			105 Kw						Kw		
		E	F	E	F			E	F	E	F
HORIZONTAL			.75			HORIZONTAL		.89			
VERTICAL			1.09			VERTICAL		.62			
AXIAL			1.61			AXIAL		1.02			
TEMPERATURA		29	26			TEMPERATURA		28	26		

CALDERAS														
						Kw								
CALDERA N°4			01/03/2018			01/03/2018			CALDERA N°5			01/03/2018		
		A	B	A	B			A	B	A	B			
HORIZONTAL		0.21	0.002	.011	0.002	HORIZONTAL		0.014	0.001	0.06	0.001			
VERTICAL		0.12	0.002	.028	0.002	VERTICAL		0.006	0.001	0.020	0.001			
TEMPERATURA						TEMPERATURA								
						Kw								
CALDERA N°6			01/03/2018			01/03/2018			CALDERA N°7			01/03/2018		
		A	B	A	B			A	B	A	B			
HORIZONTAL		0.007	0.001	0.09	0.001	HORIZONTAL		0.015	0.001	0.007	0.001			
VERTICAL		0.023	0.001	0.015	0.001	VERTICAL		0.007	0.001	0.007	0.001			
TEMPERATURA						TEMPERATURA								

Tabla 1 Registro de datos de diferentes áreas

De manera similar se registraron tablas para el resto de la maquinaria y equipos.

Este trabajo se desarrolló registrando las mediciones de todos los equipos con los que cuenta la planta. Al ser los primeros resultados se tendrán que realizar nuevas mediciones para detectar si existe alguna variación en las mismas y de ser así realizar un análisis de causa raíz para determinar el origen de la falla para prevenir que esta se presente.

Conclusiones

Se entregó un reporte al Ingeniero encargado de Mantenimiento ya que él es el responsable de todas las áreas y proyectos que conforman el área de Mantenimiento, en el mismo se dio a conocer la importancia y beneficio principalmente para prevenir fallas en los equipos, a los cuales se realizó un análisis de vibraciones ya que los rodamientos son elementos importantes en la máquina y cuyo fallo puede dar problemas graves, por eso es necesario tener un cuidado especial con ellos. Pueden fallar por errores en el montaje, lubricación inadecuada, defectos internos en la fabricación, corriente eléctrica, desalineación, rodamiento no preparado para la carga que soporta, etc. Por tanto, el análisis de vibraciones es una técnica capaz de encontrar fallos en máquinas, anticipándose a la avería.

Las ventajas de realizar este tipo de mantenimiento son la desaparición de fallos repentinos en los equipos estudiados y conocimiento del estado de la máquina en cada momento. Así se disminuyen los costes económicos por reparaciones imprevistas, pero en el proceso de producción, cambios de elementos que todavía pueden seguir funcionando, aumento de la eficiencia y disminución de costos por paros en el funcionamiento, además de todo esto, ayuda a mejorar el mantenimiento preventivo a realizar en la fábrica. Detrás de todo esto las ventajas que ofrece este estudio son sobre todo de tipo económico, de seguridad frente a averías repentinas, identificación de causas de vibraciones, interpretación de datos.

Una vez obtenidos los datos de vibraciones de una forma metódica y precisa de una máquina donde se ha detectado un problema, es necesario identificar cuál ha sido su causa y así buscar la forma y momento de reparación más eficiente, es decir, que elimine el fallo y su costo económico sea el mínimo posible.

Un defecto puede localizarse al comparar las amplitudes de las vibraciones tomadas. Normalmente una máquina que funciona correctamente tiene valores que suelen seguir una línea con tendencia ligeramente ascendente o constante. Cuando en algún momento los valores aumentan o la tendencia asciende de una forma inesperada, se puede pensar en la presencia de algún problema.

Generalmente la máxima amplitud de vibración se da en los puntos donde se localiza el problema, aunque muchas veces la vibración es transmitida a otros puntos de la máquina aunque en ellos no se encuentre la falla. El análisis de las gráficas puede indicar el tipo de defecto existente, pero muy pocas veces aparecen problemas únicos y por tanto espectros donde se refleje un defecto claramente. La experiencia y el conocimiento de la máquina son dos factores fundamentales a la hora de identificar la causa que produce una vibración importante.

Referencias

DigivibeMX M30 (2018), Análisis de Vibraciones y Herramientas Predictivas Recuperado de <http://www.erbessd-instruments.com/esp/digivibemx/m30/overview.php>

Energiza (2018), Análisis de Vibraciones una Tecnología Clave del Mantenimiento Predictivo, Recuperado de <http://www.energiza.org/mantenimiento-de-plantas/19-mantenimiento-de-plantas/516-analisis-de-vibraciones-una-tecnologia-clave-del-man-tenimiento-predictivo>

Olarte C. William, Botero A. Marcela, Cañón A. Benhur (Agosto 2010), Técnicas de Mantenimiento Predictivo Utilizadas en la Industria. *Scientia et Technica*. Año XVI, No 45, 223-226. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4546591.pdf>

Palomino Marín Evelio. (1997). *La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnostico de Máquinas Rotatorias*. La Habana Cuba, Centro de Estudios Innovación y Mantenimiento.

Penkova Vassileva María. (Octubr 2007). Mantenimiento y Análisis de Vibraciones. *Ciencia y Sociedad*, Vol. XXXII, No 4, 668-678. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/870/87032407.pdf>

SKF (2018), Simplificación del Monitoreo de Máquinas. Recuperado de <http://www.skf.com/mx/products/condition-monitoring/basic-condition-monitoring-products/vibration-measurement-tools/index.html>

Equipo didáctico para la comprobación de la inestabilidad elástica en columnas

Teaching equipment for checking elastic instability in columns

DURAN-SOSA, Ismael†, MORALES-HERNÁNDEZ, Daniela, VELÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, Francisco Javier y VÁZQUEZ-ROSAS, Sergio*

Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Av. Universidad 350, Cuitlahuac, C.P. 94910, Veracruz, México

ID 1^{er} Autor: *Ismael, Duran-Sosa* / ORC ID: 0000-0002-0731-1210, Researcher ID Thomson: P-7729-2018, CVU CONACYT ID: 937016

ID 1^{er} Coautor: *Daniela, Morales-Hernández* / ORC ID: 0000-0002-2739-552X, Researcher ID Thomson: P-8121-2018, CVU CONACYT ID: 937247

ID 2^{do} Coautor: *Francisco Javier, Velázquez-Rodríguez* / ORC ID: 0000-0002-7860-3210, Researcher ID Thomson: P-5392-2018, CVU CONACYT ID: 935265

ID 3^{er} Coautor: *Sergio, Vázquez-Rosas* / ORC ID: 0000-0002-3259-382X, Researcher ID Thomson: P-8011-2018, CVU CONACYT ID: 857794

Recibido 25 de Enero, 2018; Aceptado 30 Marzo, 2018

Resumen

Actualmente se aplica en la educación superior el modelo basado en competencias, por lo que la función del instructor es facilitar el conocimiento hacia los alumnos, los cuales buscan aplicarlo de acuerdo al ámbito de su profesión. Esta aplicación generalmente se presenta mediante prototipos, los cuales, pueden ser dispositivos semejantes a modelos originales, su función es la de generar un complemento en el proceso de enseñanza y que permita la comprobación de sustentos teóricos, por esta razón, los alumnos buscan ampliar la perspectiva de las situaciones que se susciten en un contexto diferente a un aula. El objetivo del presente trabajo es construir un equipo didáctico para la comprobación del fenómeno de inestabilidad elástica en materiales, el cual se puede replicar en laboratorios de materiales, específicamente en el área de mecánica. Se logró el diseño y puesta en marcha de un equipo didáctico para realizar la comprobación de la inestabilidad elástica en columnas de aluminio 6061, a partir de las cuatro diferentes estructuras para la comprobación de dicho fenómeno.

Inestabilidad elástica, Equipo didáctico, Columnas

Abstract

Currently, the competency-based model is applied at the undergraduate, for this reason, the instructor's function is to facilitate knowledge to students, who seek to apply it according to the scope of its application. This application is generally presented through prototypes, which can be devices similar to original models, their function is to generate a complement in the teaching process and that allows the verification of theoretical foundations, for this reason, students seek to expand the respective situations that can be solved in a context different from a classroom. The objective of this work is to build a didactic equipment for the verification of the phenomenon of elastic instability in materials, which can be replicated in materials laboratories, specifically in the area of mechanics. The design and commissioning of a didactic equipment to carry out the elastic instability test on 6061 aluminium columns was achieved, based on the four different structures for the testing of this phenomenon.

Elastic instability, Didactic equipment, Columns

Citación: DURAN-SOSA, Ismael, MORALES-HERNÁNDEZ, Daniela, VELÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, Francisco Javier y VÁZQUEZ-ROSAS, Sergio. Equipo didáctico para la comprobación de la inestabilidad elástica en columnas. Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-3: 23-27.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (Sergio.vazquez@utcv.edu.mx)

Introducción

Desde tiempos muy remotos la ingeniería ha sido unas de las carreras más demandadas a nivel nacional, de acuerdo a datos de la Dirección General de Educación Superior (2015) de un total de 3, 882, 625 alumnos el 35.8% de estudiantes en educación superior se encontraba cursando una ingeniería, por lo tanto, 1,389,980 están inscritos en un programa educativo en el área de ingeniería.

Dentro de los conocimientos que necesita un estudiante de ingeniería es el conocer las propiedades mecánicas de diversos materiales, debido a que cada objeto de nuestro alrededor está fabricado con diferentes materiales, que previamente se ha analizado tomando en cuenta sus características mecánicas, física y químicas. Dichas propiedades son empleadas en diseños de ingeniería, que se determinan por lo general mediante pruebas destructivas, no destructivas. Los resultados de estas pruebas son una ayuda para que los diseñadores puedan determinar el uso apropiado de los materiales. La educación anteriormente se enfocaba solo a transmitir conocimientos, actualmente la necesidad han provocado un cambio en el cual, además de lo anterior se proporcionan herramientas necesarias para que los alumnos construyan su propio aprendizaje (Ruiz, Uribe y Phillips, 2005).

La utilización de materiales compuestos es cada vez más aplicada en la ingeniería actual, en donde tienen mayor aplicación en proyectos que requieran alta resistencia, una mayor durabilidad y bajo peso. Al realizar un adecuado diseño de las estructuras geométricas, la selección de los materiales y el proceso de fabricación, identifican los elementos que pueden afectar su comportamiento mecánico (Sánchez, De Almeida y Carrillo, 2015).

El fenómeno de pandeo es el esfuerzo que relaciona la compresión del material (la cantidad de fuerza suministrada al material) a lo largo de su eje vertical con respecto a su eje transversal, cuando al aplicar una carga axial su estructura se ve alterada al deformar el centro de gravedad que se aleja del eje longitudinal (Hibbeler, 2011; Gere y Goodno, 2009; Beer, Johnston, DeWolf y Mazurek, 2013). Uno de los conceptos básicos para la inestabilidad elástica es el concepto de Euler [1] qué es la carga axial máxima con la que una viga o columna pueda mantenerse sin llegar al punto de pandeo o de quiebre.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{k l^2} \quad (1)$$

Uno de los conceptos básicos para el estudio de pandeo es el conocimiento de la carga crítica de Euler que es la carga axial máxima con la que una “viga o columna” pueda mantenerse sin llegar al punto de pandeo. Al agregar una carga mayor el material sufrirá una deflexión lateral evitando que llegue al punto de equilibrio. La idea es trabajar con una pieza estructural sin imperfecciones (eje recto, material sin defectos puntuales), que cuente con una longitud “L”, un eje de inercia “I”, un tipo de apoyo (con empotramiento, articulado o libre), una sección transversal conformada por un material lineal elástico cuyo módulo de elasticidad es E (Beer et al. 2013).

El principio de Euler busca ubicar un punto entre la directriz geométrica y mecánica de una columna esbelta, teniendo una demanda axial ya establecida, además de asumir un comportamiento no lineal de los materiales y teniendo una demanda axial conocida, en consecuencia, se determina el momento máximo generado por la inestabilidad, sin la necesidad de construir un diagrama de interacción de la columna (Moscoco, Alvarez y Argudo, 2014). De acuerdo con Agüero y Atienza (2015) existen sistemas susceptibles a pandeo inducido por compresión en donde las imperfecciones geométricas influyen de acuerdo a imperfecciones globales o locales, por otra parte, presenta un inconveniente para aquel que desee localizar la combinación de ambas para determinar la de mayor afectación a la estructura.

Los problemas más comunes relacionados con el fenómeno de inestabilidad elástica o pandeo en las estructuras de acero son, algunas veces, las causas de la presencia de un fallo mecánico. Para poder determinar la inestabilidad de una estructura se requiere un basto conocimiento matemático, aun, cuando se conozca con exactitud los valores de referencia crítica, y que pueda obtener resultados más confiables (Cacho-Pérez y Lorenza 2017). Se dice que la deformación en un material se presenta cuando el límite elástico es excedido, por tanto, el esfuerzo y la deformación unitaria disminuyen de una manera lineal al ser retirada la carga y la deformación unitaria es diferente a cero, por tanto, se indica que se ha presentado un deformación permanente o parcial en el material (Matar, Parodi, Repetto y Roatta, 2018).

Un material es elástico si las deformaciones causadas en una probeta por la aplicación de una carga dada desaparecen cuando la carga se retira, se dice que el material se comporta elásticamente, es decir, el material de la probeta se comporta elástica y linealmente mientras el esfuerzo se mantenga bajo un determinado parámetro (Beer et al., 2013). El objetivo del presente trabajo es construir un equipo didáctico para la comprobación del fenómeno de inestabilidad elástica en materiales, el cual se puede replicar en laboratorios de materiales, específicamente en el área de mecánica. El trabajo de su elaboración se presenta en la sección de metodología, en la sección de resultados y discusión se muestran casos prácticos que se realizaron con el equipo y por último en la sección de conclusiones se detallan las aportaciones del equipo.

Metodología a desarrollar

Se desarrolló el presente trabajo de investigación eligiendo un enfoque cualitativo debido se quiere recolectar información para poder comprobar una hipótesis a partir de una medición que se someta a un análisis estadístico. El tipo de investigación que presenta es descriptiva, en donde se busca especificar las propiedades, dimensiones, aspectos, componentes y características de los materiales que son sometidos a la inestabilidad elástica, por consiguiente, los alumnos puedan comprender este concepto con mayor facilidad (Hernández, Fernández y Baptista, 2006). El diseño de investigación hace referencia al desarrollo de un plan de trabajo para recabar la información que se requiere, y poder dar respuesta a la pregunta de investigación planteada, el presente trabajo se sustenta en un diseño pre-experimental; puesto que, para poder obtener resultados del prototipo se tienen que manipular la compresión de diversos materiales, lo cual permitirá un acercamiento a la realidad del fenómeno y la realización de pruebas pilotos (Hernández et al., 2006).

Todos los equipos que se utilicen en un estudio de inestabilidad elástica o pandeo sirven para medir, analizar y demostrar el fenómeno que se presenta en columnas, las cuales están expuestas a los efectos de las fuerzas de compresión, que, al aumentar las cargas, el eje de simetría perteneciente a la barra perderá su linealidad hasta que ceda su forma y posteriormente alcance el pandeo.

Para la construcción del equipo didáctico que permita la comprobación de la inestabilidad elástica, fue necesario una investigación previa sobre los diferentes principios que analizan para conocer determinar la mecánica de los materiales.

Diseño del equipo

El presente proyecto se inició con el diseño de la base de lo que será la estructura del equipo didáctico, una de las características del prototipo es contar con un cuerpo que facilite su transporte y que presente resistencia a las pruebas que se realizarán, cuenta con un cuerpo metálico de 2 pulgadas de ancho por 1 pulgada de altura como se observa en la imagen 1 las dimensiones de la base son: altura de 50 cm, la base de 70 cm.

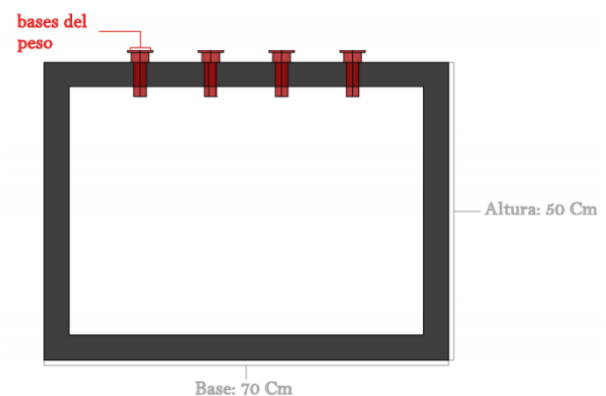


Figura 1 Estructura del equipo

Para realizar pruebas demostrativas se aplicaron plantillas de aluminio en las que se puso a prueba columnas del material y dadas las características de las estructuras; Articulada-articulada se dice que gira libre en ambos extremos y presenta una longitud de pandeo igual a la altura total de la columna, empotrada-empotrada en donde los giros se encuentran impedidos en ambos extremos y el pandeo es igual a la mitad de la longitud de la parte media de la barra, articulada-empotrada cuando presenta una deformación libre desde el extremo articulado y la longitud de pandeo es las dos terceras partes superiores, articulada deslizable empotrada cuando el pandeo adquiere una conformación de longitud doble de su altura (Rai, 2002).

El equipo didáctico cuenta con un sistema neumático que se compone de un manómetro el cual indica la presión a la que es sometido el material durante la prueba, un pistón que al accionarse sirve de apoyo para unos acoplamientos que se empotran en las columnas a someter, de esta manera fijan el material durante la prueba. Cuenta con unos barrenos de posición los cuales sirven para determinar la altura de la probeta, la cual puede ser desde los 5 cm hasta los 50 cm. Para determinar la deformación de la barra se ha instalado un sensor ultrasónico colocado a un costado del pistón, su función consiste en emitir una señal que inicia en un tiempo cero, este sonido al llegar a la barra rebota y regresa al receptor el cual da una diferencia de distancia de la deformación que sufre la barra. La señales analógicas que se emiten en el sensor son enviadas a un microprocesador el cual realiza una conversión a señal digital para poder ser tratada y visualizada mediante una pantalla.

Resultados

Se logró el diseño y puesta en marcha del equipo didáctico para poder realizar la comprobación de la inestabilidad elástica o pandeo, para poder comprobar su funcionamiento se realizaron pruebas en donde se utilizaron probetas de acuerdo a la tabla 1, se observan las características del material para dicho ensayo, se usó una barra de aluminio 6061 y se replicó en las cuatro diferentes estructuras que puede presentarse; articulada-articulada, empotrada-empotrada, articulada-empotrada y articulada deslizable empotrada.

Datos	Unidades
Módulo de Young	6.9×10^{10}
Base	.001 m
Altura	.01 m
Longitud	.40 m

Tabla 1 Características de probetas

El módulo de Young es una característica de los materiales que se relaciona al comportamiento elástico de los mismoa, para poder calcularlo se desarrolló la ecuación 2 y 3 para los ejes en X y Y respectivamente, se buscó que el eje fuerte de la sección sea el que tenga mayor momento de inercia. Sin embargo para realizar los se ocupa el menor momento de inercia, con respecto de Y, y se sustituye en la ecuación 1 y de esta manera se pueden comparar los resultados obtenidos con el equipo. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

$$I_x = \frac{1}{12} B * H^3 \quad (2)$$

$$I_x = \frac{1}{12} H * B^3 \quad (3)$$

Tipo de apoyo	Carga axial
Articulada - Articulada	3.59 N
Empotrada - Articulada	5.14 N
Empotrada - Empotrada	7.19 N
Libre - Empotrada	3.59 N

Tabla 2 Características de probetas

Para validar los resultados obtenidos por el prototipo se sometieron a un proceso de simulación mediante el software Inventor, en la imagen 2 se pueden observar los análisis que reflejan la prueba realizada a una probeta libre empotrada, en la tabla de trazado de convergencia que va desde 0.198 la mínima tensión hasta 0.395 la máxima tensión de von Mises (Mpa) en donde se le aplica una magnitud de 3.59 N.

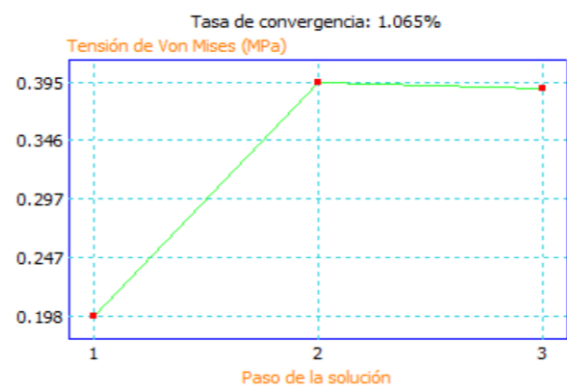


Figura 2 Trazado de convergencia

La segunda prueba recae en la interpretación de la misma, aunque esta depende de la magnitud ejercida, para este caso fue de 7.19 N en donde según los niveles de tensión tiene su recorrido de 0 como mínima a 5.282×10^{-4} como máxima. En la simulación de una probeta articulada empotrada a la que se somete a una prueba de pandeo se aprecia que el posible grado de ruptura se encuentra en los puntos de 3.072×10^{-5} .

Conclusiones

Los elementos fallan debido a diversos motivos los cuales pueden ser, por haber suministrado un material inadecuado, estudio incorrecto de carga y mal manejo de apoyos. Estos fallos se pueden evitar haciendo un correcto análisis estructural.

Los análisis de pandeo son un tipo de estudio estructural que sirve para poder identificar cómo se comporta un material al suministrarle una carga axial, el comportamiento dependerá totalmente de los parámetros a los que está sujetas las columnas. El resultado del estudio es un coeficiente de la carga crítica. Sin embargo, no podemos tomar como referencia el valor de la carga crítica para diseño de columna ya que las deformaciones a causa de pandeo pueden provocar la ruptura estructural. Por lo que el diseño de una columna debe ser sujeta a un parámetro menor que el establecido en la carga crítica.

Se realizaron 4 análisis de comportamiento, con 4 probetas de iguales medidas y 4 casos diferentes de pandeo sin embargo las fuerzas de compresión variaron en los 4 estudios, en el primer análisis de la columna articulada-articulada la fuerza requerida para pandeo fue muy ligera con respecto a las otras, en el caso de la columna articulada empotrada soportó un poco más de fuerza comparada con el primer caso sin embargo la columna doblemente empotrada soportó más fuerza que en los casos anteriores y por la empotrada libre fue la que soportó menor carga.

La fórmula de Euler demuestra que la carga crítica que puede producir el pandeo no depende de la resistencia del material, sino de sus dimensiones y el módulo de elasticidad. Y en dimensiones se refiere a que mientras más larga es una columna, para la misma sección transversal, mayor es su tendencia al pandeo y menor su capacidad de carga., por lo que el análisis de pandeo se trabaja en conjunto con el análisis de esbeltez, cuando se va a diseñar una columna se necesita seleccionar una sección transversal adecuada con apoyo que soporte las cargas axiales.

Referencias

- Agüero, A., & Atienza, J. R. (2014). Diseño de estructuras metálicas esbeltas susceptibles de pandear. Definición de la imperfección geométrica. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 31 (1), 65-70.
- Beer, F. P., Johnston, R. E., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2013). *Mecánica de materiales* (6 ed.). México: Mcgraw Hill Education.
- Cacho-Perez, M., & Lorenzana Iban, A. (2017). Pandeo 3D de estructuras de barras de sección de tipo doble-T. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 33 (1-2), 1-9.
- Dirección General de Educación Superior Universitaria. (2015). *La educación superior en cifras 2013-2014*. México D.F. : SEP.
- Gere, J. G., & Goodno, B. J. (2009). *Mecánica de materiales*. México, México: Cengage Learning Editores.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México D.F., México: McGraw-Hill.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Ingeniería mecánica estática*. México: Pearson Educación.
- Matar, M., Parodi, M. A., Repetto, C. E., & Roatta, A. (2018). Modelización lineal de un sistema masa-resorte real. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40 (2), e2306.
- Moscoso Fernández Salvador, J. F., Alvarez Ruilova, J., & Argudo Sánchez, G. (2014). Análisis no lineal del pandeo de columnas esbeltas para cargas estáticas. *Maskana. Revista científica*, 5, 47-58.
- Rai, D. C. (2002). Inelastic Cyclic Buckling of Aluminum Shear Panels. *Journal of Engineering Mechanics*, 128 (11), 1233–1237.
- Ruiz, D., Uribe, E. J., & Phillips, C. (2005). Modelos estructurales: Gran incentivo para aprender el comportamiento estructural. *XXV reunión nacional de facultades de ingeniería "el impacto de las reformas de la educación superior en la formación de ingenieros"*.
- Sánchez, M. L., De Almeida, S. F., & Carrillo, J. (2017). Evaluación del efecto de las tensiones térmicas residuales en el pandeo y post-pandeo de placas compuestas con refuerzos laterales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 37 (1), 45-59.

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} Coautor

Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1^{er} Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2^{do} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2^{do} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Ingeniería Industrial. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]

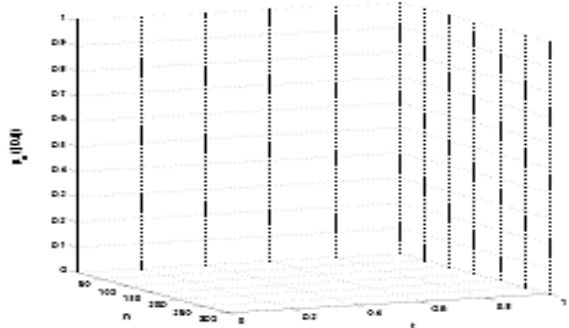


Gráfico 1 Título y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

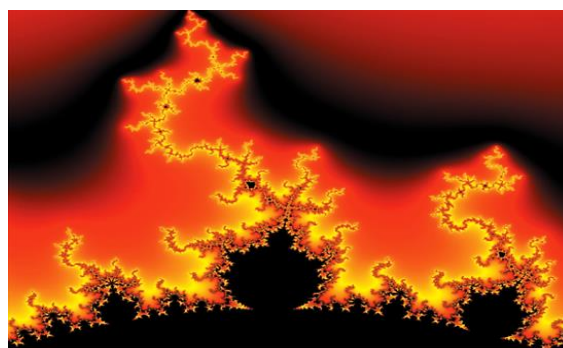


Figura 1 Título y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Título y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

Ficha Técnica

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

Reserva a la Política Editorial

Revista de Ingeniería Industrial se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Industrial emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Perú considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding Perú para su Revista de Ingeniería Industrial, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

Servicios Editoriales:

Identificación de Citación e Índice H.

Administración del Formato de Originalidad y Autorización.

Testeo de Artículo con PLAGSCAN.

Evaluación de Artículo.

Emisión de Certificado de Arbitraje.

Edición de Artículo.

Maquetación Web.

Indización y Repositorio

Traducción.

Publicación de Obra.

Certificado de Obra.

Facturación por Servicio de Edición.

Política Editorial y Administración

244 - 2 Itzopan Calle. La Florida, Ecatepec Municipio México Estado, 55120 Código postal, MX. Tel: +52 1 55 2024 3918, +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 4640 1298; Correo electrónico: contact@ecorfan.org
www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editora en Jefe

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLO, Angélica. BsC

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Editores Asociados

OLIVES-MALDONADO, Carlos. MsC

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

CHIATCHOUA, Cesaire. PhD

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

CENTENO-ROA, Ramona. MsC

ZAPATA-MONTES, Nery Javier. PhD

ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD

MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC

ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan),sponsorships@ecorfan.org

Licencias del Sitio

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

Oficinas de Gestión

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre–Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal –Madrid-España.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

1047 La Raza Avenue -Santa Ana, Cusco-Peru.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Cameroon.

Southwest Avenue, San Sebastian – León-Nicaragua.

6593 Kinshasa 31 – Republique Démocratique du Congo.

San Quentin Avenue, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 Kilometro, American Highway, House Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Captain, CP-2060. Luque City- Paraguay.

Distrito YongHe, Zhongxin, calle 69. Taipei-Taiwán.

Revista de Ingeniería Industrial

“El Mantenimiento Productivo Total “TPM” como factor para el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado”

MORENO-VÁZQUEZ, Pedro & CALVILLO-VALDEZ, Oscar Daniel

Universidad Tecnológica de Calvillo

Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes

“Desarrollo de una metodología para la actualización de máquinas CNC a bajo costo”

MENDOZA PINTO, Luis Manuel & NOVELO MOO, Thelma

Universidad Tecnológica Metropolitana

“Aplicación Industrial del análisis de vibraciones”

CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique, ALCALÁ-BAROJAS Iván,

VALDEZ-MARTÍNEZ Jorge Salvador, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto

Miguel, LÓPEZ-VEGA Luis Jaime y RUMBO-MORALES Jesse Yoe

Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos

“Equipo didáctico para la comprobación de la inestabilidad elástica en columnas”

DURAN-SOSA, Ismael, MORALES-HERNÁNDEZ, Daniela,

VELÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, Francisco Javier y VÁZQUEZ-ROSAS,

Sergio

Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

